



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN – TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO AGROSILVO PASTORIL
ESCUELA ACADÉMICO - PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE SILICIO MAS
ABONOS ORGÁNICOS EN LA PODA DE REHABILITACIÓN EN
PLANTAS DE CAFÉ VARIEDAD CATIMOR EN EL DISTRITO DE
ALONSO DE ALVARADO ROQUE - PROVINCIA DE LAMAS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Bach. DANY GARCÍA BARTRA**

TARAPOTO – PERÚ

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN – TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO AGROSILVO PASTORIL
ESCUELA ACADÉMICO-PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
ÁREA DE MEJORAMIENTO Y PROTECCIÓN DE CULTIVO

T E S I S

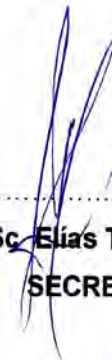
**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOSIS DE SILICIO MAS
ABONOS ORGÁNICOS EN LA PODA DE REHABILITACIÓN EN
PLANTAS DE CAFÉ VARIEDAD CATIMOR EN EL DISTRITO DE
ALONSO DE ALVARADO ROQUE - PROVINCIA DE LAMAS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Bach. DANY GARCÍA BARTRA**



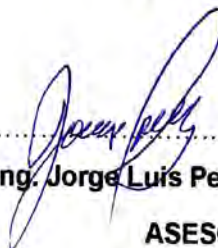
.....
Ing. Segundo D. Maldonado Vásquez
PRESIDENTE



.....
Ing. M.Sc. Elías Torres Flores
SECRETARIO



.....
Ing. M.Sc. Tedy Castillo Díaz
MIEMBRO



.....
Ing. Jorge Luis Peláez Rivera
ASESOR

DEDICATORIA

Aprendí que no se puede dar marcha atrás, que la esencia de la vida es ir hacia adelante. La vida en realidad es una calle de sentido único.

El presente trabajo de investigación representa el esfuerzo por alcanzar una de mis metas propuestas en el lapso de mi vida, que es obtener el título de ingeniero agrónomo.

Dedico en primer lugar a **Dios**, todopoderoso creador del cielo y de la tierra, por haberme dado la sabiduría y constancia necesaria para enfrentar los retos que se presentan en el transcurso de mi vida.

A mis padres: Eferson García García y Fraccila Bartra Viena, quienes han sido el eje fundamental de mi formación e impulsores, para alcanzar todas mis metas.

A mis hermanos: Carlos Alberto y Kener quienes siempre me han apoyado y me han inspirado para seguir adelante inspirado y vencer los obstáculos que se me presentan.

A mí querida Tía: Nisida García Pinedo (q.e.p.d) quien desde el cielo debe estar contenta al cumplir sus sueños que ella tuvo, que yo fuera profesional.

Dany García Bartra

AGRADECIMIENTO

Muchos fueron los obstáculos que tuve en mi camino, pero siempre existieron personas que me brindaron su mano para poder continuar y concluir con éxito mi trabajo de investigación:

Al Ing. **Jorge Luis Peláez Rivera**, docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto; por su asesoramiento, colaboración, tiempo y su desinteresada ayuda en las diferentes etapas de desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todas las personas que trabajan en la **ONG CAPIRONA** Investigación y Desarrollo, que fue la institución que financió el presente trabajo de investigación.

A mi coasesora Dra: **Stephanie Galluser Jacquat**, quien fue la que me apoyó incondicionalmente en la elaboración del proyecto de tesis.

A **Nelson Ríos Arévalo** (q.e.p.d) quien durante el tiempo que compartí con él, me brindo su apoyo incondicional en la conducción y asesoramiento técnico del presente trabajo de investigación.

Al Bach. **Nery Antonio Pinedo Mori**, por su apoyo invaluable e incondicional en los momentos más difíciles de las evaluaciones durante la ejecución del proyecto de tesis.

A todos ellos mi más profundo agradecimiento.

Dany García Bartra

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|------|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 Característica del cultivo de café | 4 |
| 3.1.1 Origen y distribución | 4 |
| 3.1.2 Clasificación botánica | 4 |
| 3.1.3 Morfología general | 5 |
| 3.2 Condiciones edafoclimáticas del Cultivo | 6 |
| 3.2.1 Factores climáticos | 6 |
| 3.2.2 Factores edáficos | 8 |
| 3.3 Fertilización del cultivo de cafeto | 11 |
| 3.4 Nutrición vegetal | 12 |
| 3.4.1 Elementos nutritivos | 13 |
| 3.4.2 Mecanismos de absorción de los elementos nutritivos | 13 |
| 3.4.3 Funciones generales de los elementos nutritivos | 14 |
| 3.5 Silicio | 17 |
| 3.5.1 El Silicio en la solución suelo | 17 |
| 3.5.2 Beneficios del silicio | 18 |
| 3.5.3 Importancia del silicio | 23 |
| 3.5.4 El Sílice en las plantas: Las cantidades | 24 |
| 3.5.5. Relación del fósforo con el silicio | 25 |
| 3.6 Abonos orgánicos | 27 |
| 3.6.1 Importancia de abonos orgánicos | 28 |
| 3.6.2 Propiedades de los abonos orgánicos | 28 |
| 3.6.3 Tipos de abonos orgánicos | 30 |
| 3.7 Fertilización de la planta podada | 34 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS | 38 |
| 4.1. Características del área experimento | 38 |
| 4.2. Diseño experimental | 42 |
| 4.3. Tratamientos estudiados | 42 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.4. Metodología de trabajo en campo | 44 |
| VI. RESULTADOS | 50 |
| 5.1 Días al brotamiento | 50 |
| 5.2 Numero de brotes por planta | 51 |
| 5.3 Tamaño de brotes | 52 |
| 5.4 Diámetro de brotes | 53 |
| 5.5 Numero de ramas por brote | 54 |
| 5.6 Numero de hojas | 55 |
| 5.7 Área foliar | 56 |
| VII. DISCUSIONES | 57 |
| VIII.CONCLUSIONES | 67 |
| IX. RECOMENDACIONES | 69 |
| VIII. BIBLIOGRAFIA | 70 |
| RESUMEN | |
| SUMMARY | |
| ANEXO | |



INDÍCE DE CUADROS

| | Pag. |
|------------------|---|
| CUADRO 1: | Datos meteorológicos durante la realización del |
| | trabajo de investigación. 39 |
| CUADRO 2: | Análisis físico-químico de suelo. 41 |
| CUADRO 3: | Tratamientos en estudio. 42 |
| CUADRO 4: | ANVA para el número de brotes. 51 |
| CUADRO 5: | ANVA para el tamaño de brotes. 52 |
| CUADRO 6: | ANVA para el diámetro de brotes 53 |
| CUADRO 7: | ANVA para el número de ramas por brote 54 |
| CUADRO 8: | ANVA para el número de hojas por brote 55 |
| CUADRO 9: | ANVA para el área foliar 56 |

I. INTRODUCCIÓN

La caficultura peruana se desarrolla en 11 regiones e involucra a 67 provincias 338 distritos rurales. Se dedican a ella aproximadamente 160 mil familias. La superficie sembrada con este cultivo es de aproximadamente 380 mil hectáreas. En el 2010 se exportaron 4 millones 987 mil quintales de café verde, por un valor FOB de 888 millones de dólares (JNC, 2011), el 26% de las agroexportaciones del país.

La disminución del rendimiento en plantaciones de cafeto en nuestra región se debe a que no se realiza un adecuado manejo agronómico, especialmente en lo que concierne a la regeneración del tejido productivo en las plantas de café y a la nutrición del cultivo. Al respecto, se observa plantaciones antiguas con bajos rendimientos debido a la edad, alta susceptibilidad a plagas y enfermedades, necesitando el control permanente de las mismas e incrementándose con ello los costos de producción, siendo el cultivo no rentable, conllevando al abandono de las plantaciones. Esto genera problemas sociales y de carácter ambiental, dado que el agricultor deforesta y quema más bosques para establecer nuevas plantaciones, llegando inclusive a posesionarse de las cabeceras de los ríos, produciendo la degradación de los suelos y escasez de agua.

En el presente trabajo de investigación se estudió y comparó los efectos de la formulación de abonos orgánicos (formulación estándar), recomendado por Sánchez Escalante (guano de isla, roca fosfórica, sulfato de potasio, ulexita, magnocal, sulfato de Zinc, sulfato de Manganeso y sulfato de Cobre) y Silicio enriquecido, sobre la poda de rehabilitación en el cultivo de café. Esto nos permitió evaluar diversos parámetros, sobre el brotamiento de la planta de café, en el distrito de Alonso de

Alvarado (Roque), en el marco del Proyecto Cafés Especiales ejecutado por la ONG Capiróna, que trabaja con caficultores organizados, con el propósito de ofrecer una alternativa viable de abonamiento a bajo costo que mejore los rendimientos del cultivo.

II. OBJETIVOS

- 2.1** Comparar el efecto de la aplicación de una solución de minerales y ácidos orgánicos, enriquecida con tres (03) dosis de silicio en mezcla con un abono organo-mineral (formulación estándar), sobre la poda de rehabilitación del cafeto variedad Catimor.

- 2.2** Determinar la dosis de la formulación de silicio aplicada, que mejor contribuya a la inducción de crecimiento de brotes en la planta de café, después de la poda de rehabilitación.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Característica del cultivo de café

3.1.1. Origen y Distribución.

El café (*Coffea arabica* L.), es originario de las tierras altas de más de 1.000 msnm en Etiopía y Sudán (África). En los años 575 y 890, los persas y los árabes lo llevaron a Arabia y Yemen, en tanto que los nativos africanos lo extendieron a Mozambique y Madagascar. De aquí los holandeses y los portugueses, entre los años 1600 y 1700, lo trasladaron a Ceylán, posteriormente a Java y a la India, así como a otras regiones de Asia y África.

Es uno de los cultivos de mayor importancia en muchos países del mundo como: Colombia, Brasil, El Salvador, Nicaragua, y muchos otros (Blanco y Hagggar, 2003).

3.1.2. Clasificación Botánica.

Ruiz (1979), lo clasifica de la siguiente manera:

| | | |
|-----------|---|---------------------------|
| Grupo | : | Fanerógamas |
| Clase | : | Angiospermas |
| Sub clase | : | Dicotiledóneas |
| Orden | : | Rubiales |
| Familia | : | Rubiaceae |
| Género | : | <i>Coffea</i> |
| Especie | : | <i>arabica, canephora</i> |

3.2. Morfología general

Alvarado y Rojas (2007), describen morfológicamente al café de la siguiente manera: Las raíces del cafeto son: pivotante, axilares o de sostén, laterales y raicillas. El tallo, es leñoso, erecto y de longitud variada de acuerdo con el clima y de tipo de suelo; en las variedades comerciales varía entre 2,0 y 5,0 m de altura. Las ramas o bandolas, llamadas también ramas laterales o ramas primarias, son opuestas y alternas y dan origen a las ramas secundarias; pueden originar a su vez, ramificaciones terciarias o palmilla. La lámina de la hoja mide de 12 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, variando su forma de elíptica a lanceolada; el tamaño no sólo varía entre especies y cultivares, sino también de acuerdo con las condiciones de sombra o plena exposición de sol a que esté sometida.

Las flores se forman en las axilas de las hojas, allí presentan las yemas florales de 1 a 3 ejes, los que se dividen en 2 ò 6 ramificaciones cortas de 2 a 4 mm coronando cada una en una flor la cual está formado por el cáliz, corola, estambres y pistilo. La floración del cafeto permanece pocos días. Cuando se abre la flor, las anteras ya han liberado gran cantidad de polen; por esta razón, la autofecundación se da en un alto porcentaje. Una vez que el polen alcanza los óvulos, la fertilización se completa durante cuatro o seis días.

El fruto se forma después de la fecundación, el ovario se transforma en fruto y sus dos óvulos en semillas. El fruto maduro es una drupa elipsoidal en los cultivares comerciales, ligeramente aplanada, cuyos tres ejes principales miden entre 12 y 18 mm de longitud, 8 y 14 mm de ancho y 7 y 10 mm de

espesor. En el ápice queda el disco con una depresión central que corresponde a la base del estilo. Es de superficie lisa y brillante y de pulpa delgada; está constituido de tres partes diferentes: el epicarpio o epidermis; el mesocarpio o pulpa y el endospermo o semilla. Cuando madura puede ser de color rojo o amarillo, dependiendo del cultivar.

La semilla formada por el endospermo, debido a que el embrión, que se encuentra en la parte basal es de tamaño muy reducido. El endospermo es coriáceo, verdoso o amarillento y forma un repliegue que se inicia en el surco de la cara plana. Está protegida por una cubierta muy delgada conocida como película plateada y esta a su vez está protegida por el pergamino. En el fruto se distingue tanto una capa externa más oscura y densa denominada endospermo duro como una más clara, el endospermo suave.

3.3. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo

3.3.1. Factores climáticos

3.3.1.1. Temperatura. Las zonas cafetaleras se caracterizan por presentar temperaturas promedios anuales entre 17 °C y 23 °C, un rango que se considera óptimo para el cafeto arábico (Figuerola, 1990). La temperatura óptima para el cafeto está entre 18.5 °C – 21.0 °C, a temperaturas menores de 18 °C, el café madura muy lento. Descensos por debajo de 7 °C causan pérdidas considerables en la producción (Fernández, 1963).

3.3.1.2. Lluvia. El rango de lluvias puede variar entre 1500 a 2500 mm/año (Benito, 1996). Lluvias de 1000 mm por año, de no estar distribuidas

convenientemente durante los 12 meses y no estar con prácticas de conservación de humedad en el suelo, ya requieren de irrigación adicional para evitar o reducir posibles déficits de agua (Figueroa, 1990).

Castañeda (1997), afirma que las lluvias son muy importantes por lo siguiente:

- Determinan el inicio de la campaña cafetalera.
- Favorece el crecimiento de la planta, la floración y la fructificación.
- Es la época más importante del llenado de grano.

3.3.1.3. Humedad Relativa. La humedad relativa prevalece en los cafetos en el rango de 70 % al 90 %, resulta apropiada. Esta humedad baja durante la estación seca (Figueroa, 1990).

3.3.1.4. Luminosidad. El cafeto es una planta de días cortos (menor de 13 horas luz), teniéndose en las zonas cafetaleras días iluminados en verano y nublados en invierno (Ruiz, 1979). La cantidad de luz y horas de sol, tienen gran influencia en la producción; a mayor luminosidad, la planta produce mayor cosecha, siempre que se encuentre bien abonado. En zonas nubladas con prácticas culturales apropiadas y oportunas es posible obtener altos rendimientos (Benito, 1996).

3.3.1.5. Vientos. El comportamiento de los cultivares de café, frente a la acción de los vientos presenta marcadas diferencias. Son los cafetos de porte bajo más resistentes a las corrientes de aire. Los daños, de acuerdo a la

intensidad de estos vientos van desde rotura de ramas, defoliación, caída de frutos hasta tumbado de cafetos y árboles de sombra (Figueroa, 1990).

3.3.1.6. Altitud. El cafeto se siembra desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 2000 msnm. La altura, por si no es determinante para la calidad de las cosechas (Figueroa, 1990). En cambio Castañeda (1997), menciona que en el Perú las zonas cafetaleras van desde los 600 a 1600 msnm y tienen tres (3) zonas:

- Zona baja: 600 – 900 msnm
- Zona media: 900 – 1200 msnm
- Zona alta: 1200 – 1600 msnm

3.3.2. Factores edáficos

3.3.2.1 Suelos.

El cafeto no parece tener exigencias bien definidas en cuanto a la naturaleza de los suelos, crece tanto en tierra arcillo-silíceas de origen granítico, como en los de origen volcánico (dolomitas, basaltos, cenizas, tobos, etc.) (Coste, 1978).

La textura del suelo y su profundidad tienen por el contrario una gran importancia. El cafeto posee un sistema radicular que alcanza gran extensión. El suelo es muy importante en la producción y hay que seleccionar teniendo en cuenta su permeabilidad y drenaje, el contenido de elementos minerales y la topografía del terreno (Benito, 1996).

3.3.2.2. pH

La fertilidad del suelo depende del contenido de elementos asimilados de la materia orgánica y de la flora microbiana. Una ligera acidez de pH 5.0 a 6.5 es la mejor para el establecimiento de cafetales. Los suelos alcalinos presentan problemas de deficiencia de elementos menores tales como el zinc, boro y cobre; y los suelos muy ácidos además de esas deficiencias, muestran toxicidad de aluminio, magnesio o fierro, por lo que no son adecuados para el cultivo de café. Pero resulta también evidente que existen magníficos cafetos, de alta productividad en suelos mucho menos ácidos e incluso próximos a la neutralidad (pH 7,0). Por lo tanto y como en todas las cosas, este criterio no deberá tomarse con excesivo rigor (Benito, 1996).

3.3.2.3. Materia orgánica.

La materia orgánica es uno de los elementos que mas favorece al suelo y a través de éste, a la planta. El cafeto es un cultivo que necesita desarrollarse en suelos que contengan una adecuada cantidad de materia orgánica (3.0 %). El contenido de materia orgánica del suelo influye en sus condiciones físicas y biológicas, es de hecho un mejorador de las condiciones físicas, porque favorece una buena estructura del suelo y posibilita que esta se desmenuce con facilidad (Fernández, 1983).

3.3.2.4. Mineralización de la materia orgánica

El contenido medio de Nitrógeno de la materia orgánica es del orden del 5 %. La descomposición de la materia orgánica podía efectuarse por dos vías

diferentes, según que se pase o no por la humificación o transformación de la materia orgánica en humus, que está constituido por un conjunto de productos orgánicos complejos cuya mineralización es muy lenta.

El proceso general de mineralización de la materia orgánica se realiza lentamente por la acción enzimática de los microorganismos, que van fraccionando poco a poco las unidades moleculares complejas en unidades cada vez más simples, hasta llegar a la producción final de ácidos orgánicos, anhídrido carbónico y en el ión amonio (NH_4), por lo que se conoce esta fase como amonificación.

En este proceso se producen numerosas reacciones de hidrólisis, así como de oxidación y reducción y, en ellas, participan activamente todo tipo de bacterias heterótrofas y otros microorganismos saprofíticos que utilizan la energía química de la materia orgánica para sus procesos vitales, siendo en cierto modo, el nitrógeno mineral un subproducto del metabolismo microbiano.

La mineralización de la materia orgánica se lleva a cabo simultáneamente con la fijación o inmovilización del mismo, por los microorganismos. En efecto, éstos necesitan también el nitrógeno para su metabolismo, utilizando tanto en forma nítrica como la amoniacal. En consecuencia, al tiempo que se mineraliza el nitrógeno, es reutilizado por los microorganismos (Figueroa ,1998).

3.4. Fertilización del cultivo de cafeto

El cultivo de cafeto, para su crecimiento y producción se abastece de nutrientes a partir de las reservas que contenga el suelo. Por tanto, si un suelo no está bien abastecido en forma natural para cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo, será necesario proporcionarlo mediante la fertilización, sea con abonos orgánicos, sintéticos o minerales (Rengifo, 1998).

3.4.1. Épocas de absorción de elementos minerales.

La máxima absorción de los elementos minerales se produce en la etapa de floración, en la subida de lluvias y en la etapa de llenado de grano en la bajada de lluvias.

En la caficultura moderna, los elementos mayores y menores que la planta absorbe en orden de importancia son:

- Elementos Mayores: K, N, Ca, Mg, S, P, (son aplicados directamente al suelo).
- Elementos Menores: Cl, Fe, Zn, Mn, Mo, (se aplican por vía foliar) (Castañeda, 1997).

3.4.2. Época de aplicación y absorción de los fertilizantes.

En base al crecimiento de la planta y absorción de los elementos minerales las épocas más oportunas de aplicación de fertilizantes son:

- 1 ° aplicación = En la etapa de floración
Después del inicio de las lluvias
- 2 ° aplicación = En la etapa de llenado de grano

Al inicio de la bajada de lluvias

La primera y segunda aplicación de fertilizantes debe contener: N, P, K, Mg, B y S (Castañeda, 1997).

3.4.3. Dosis de fertilizantes a aplicar

Las cantidades de nutrientes a utilizar en la formulación de fertilizantes esta en relación con la fertilidad de suelo, clima, edad de las plantas, estado nutricional y precios del café, entre otros (Figueroa, 1990).

3.4.4. Lugar y forma de aplicación de los fertilizantes.

La fertilización se realiza en dirección de la proyección de la copa, ya que la mayor parte del sistema radicular del cafeto se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad y cubriendo un área igual a la de la copa (Fernández, 1963).

La fertilización se realiza en forma de una banda circular de unos 20 cm de ancho. En caso de plantaciones ubicadas en pendientes, los fertilizantes se aplicarán en el semicírculo superior (media luna). El ancho de la banda se hace con rastrillo, los fertilizantes se aplican a una profundidad de 5 a 7 cm, luego se tapan con una capa de suelo y con resto de hojarasca del suelo (Rengifo, 1998).

3.5. Nutrición vegetal

Se entiende por nutrición vegetal el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias que les son necesarias para llevar a

cabo su metabolismo y, en consecuencia, desarrollarse y crecer. Una característica particular de las plantas verdes, como se ha visto anteriormente, es que las sustancias requeridas para su alimentación son exclusivamente de tipos minerales o inorgánicos (Domínguez, 1989).

3.5.1. Elementos nutritivos.

De acuerdo con el criterio anteriormente citado, se ha ido demostrando por diferentes investigadores la esencialidad de los siguientes elementos químicos:

| | | |
|---------------|----------------|----------------|
| Carbono (C) | Hidrógeno (H) | Oxígeno (O) |
| Nitrógeno (N) | Fósforo (P) | Potasio (K) |
| Azufre (S) | Calcio (Ca) | Magnesio (Mg) |
| Hierro (Fe) | Zinc (Zn) | Manganeso (Mn) |
| Cobre (Cu) | Molibdeno (Mo) | Boro (B) |
| Cloro (Cl) | | |

A estos dieciséis elementos que son esenciales para todas las plantas superiores podrían añadirse algunos otros, tales como el Sodio (Na), el Silicio (Si) y el cobalto (Co) que sólo parecen ser necesarios para algunas especies (Domínguez, 1989).

3.5.2. Mecanismos de absorción de los elementos nutritivos

Los elementos nutritivos son absorbidos por la planta, generalmente desde la solución del suelo y a través de la raíz por procesos y mecanismos que aún no están completamente aclarados. No obstante, la intensa investigación que

se viene desarrollando en los últimos años al respecto, ha permitido aumentar muy significativamente el conocimiento de dichos mecanismos.

La absorción de elementos nutritivos presenta unas características muy específicas como la selectividad de los elementos químicos y la entrada de elementos en la planta cuando la concentración interna es muy superior a la externa o la carga eléctrica es contraria. Esto es, la absorción se hace en contra de gradientes de concentración o eléctricos, lo que necesariamente exige el consumo de energía para superar estas barreras físicas (Domínguez, 1989).

3.5.3. Funciones generales de los elementos nutritivos

Los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno y azufre son constituyentes de compuestos orgánicos básicos en el metabolismo de la planta. A continuación examinaremos brevemente las funciones específicas de los más importantes elementos nutritivos:

3.5.3.1 Nitrógeno (N). El Nitrógeno es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos orgánicos minerales de la planta. Es absorbida por la planta, tanto en forma nítrica (ión nitrato NO_3), como en forma amoniacal (ión amonio NH_4), siendo ambos metabolizados por la misma.

Resulta evidente, que la escasez en el abastecimiento de Nitrógeno a la planta, aunque sea ligera, tiene una notable incidencia en el desarrollo. El síntoma característico es la clorosis generalizada de la planta, comenzando

por las hojas viejas, dada la gran movilidad de este elemento dentro de la misma. En los casos graves, las plantas se marchitan y mueren (Domínguez, 1989).

Importante para la producción de follaje y de las ramas laterales, como desarrollo de los frutos. Su deficiencia se manifiesta con amarillamiento de las hojas mas viejas que luego se generaliza en todo el follaje pudiendo llegar a defoliarse por completo. Los frutos se vuelven amarillos y pequeños se caen con facilidad. La mayor fuente de nitrógeno se encuentra en guano de isla, estiércol descompuesto, la gallinaza, harina de sangre el estiércol liquido, los orines y abonos verdes (Figueroa ,1998).

3.5.3.2 Fósforo (P). El fósforo se encuentra en la planta en forma de ortofosfato y, en algunos casos, como pirofosfato. La nutrición adecuada de fósforo tiene, entre otros, los siguientes efectos favorables: acelera la madurez, mejora la calidad de frutos, aumenta la resistencia a las enfermedades, etc. Sin embargo, la escasez de este elemento tiene una fuerte influencia en el desarrollo (Domínguez, 1989).

Se encarga de la formación del sistema de raíces y flores, así como el crecimiento y la maduración de los frutos. La deficiencia de fósforo se presenta generalmente en las hojas más viejas donde se observan manchas amarillas con coloraciones rojas, mientras que las hojas nuevas (las guías) muestran menor crecimiento.

Las fuentes de fósforo son el guano de islas, el fosfato natural, las escorias básicas, los fosfatos minerales, harina de pescado y la harina de huesos (Figuerola ,1998).

3.5.3.3 Potasio (K). Ejerce una función muy importante como osmoregulador disuelto en el jugo celular. Su acumulación en la raíz crea un gradiente osmótico que permite el movimiento del agua en la planta, operando de igual modo en las hojas (Domínguez, 1989).

Es requerido en grandes cantidades para el crecimiento de la planta y aun más para fructificación (frutos). Siendo este es que se encuentra en mayor proporción en el fruto. En deficiencia del potasio se presenta pocas flores y un menor número de frutos maduros de las ramas. En casos severos las ramas comienzan a secarse por las puntas y las hojas se desprenden con facilidad hasta ocasionar muerte de la rama. Los frutos no completan su desarrollo se tornan marrones y terminan negros. Se encuentra en mayor proporción en la ceniza vegetal y en menor contenido en guano de isla (Figuerola ,1998).

3.5.3.4. Magnesio (Mg). El magnesio es un constituyente de la clorofila, por lo que una parte apreciable del contenido total en la planta se halla en los cloroplastos de las células de las hojas. Se observa que el nivel de magnesio es mayor cuando el nivel de potasio es bajo (Domínguez, 1989).

Los cafetales que presentan deficiencias de este elemento se caracterizan por el amarillamiento de las hojas (Figueroa ,1998).

3.6 Silicio

El Silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre, con un promedio de 27,6 %. Si en el suelo varía de 230 a 350 g/kg; en suelos arenosos no meteorizados pueden contener 400 g/ kg de este elemento y los suelos tropicales altamente meteorizados pueden contener 90 g/kg de Si. Las fuentes principales de Si incluyen minerales silicatados primarios y secundarios, y cuarzo (SiO_2). El cuarzo es el mineral más común en los suelos, comprendiendo 90 a 95 % de las fracciones arena y limo. Los suelos bajos en Si se presentan en regiones intensamente meteorizadas, de alta precipitación pluvial. Las propiedades de suelos deficientes en Si incluyen Si total bajo, alto Al, baja saturación de bases, y pH bajo. Además tienen capacidad de fijación de P extremadamente alta debido a su alta CIC y contenido de óxidos de Fe y Al (Azabache, 2003).

3.6.1 El silicio en la solución suelo

El ácido silícico (H_4SiO_4) es el principal grupo en forma hidratada. A concentraciones altas de este elemento en solución, el H_4SiO_4 polimeriza para formar precipitaciones de sílice amorfo SiO_2 . Se ha reportado niveles de 3 a 37 mg/l de Si en solución en un amplio rango de suelos normales (Azabache, 2003).

3.6.2. Beneficios del silicio

Quero (2008), menciona que los beneficios de la mayor concentración de silicio en el suelo y suministrar al suelo minerales ricos en silicio a través de los procesos de fertilización, permiten una solución económica y rentable para la producción agrícola, destacando lo siguiente:

- a) El silicio incrementa la productividad y calidad de las cosechas agrícolas.** Desde el año 1848, numerosos reportes de investigación y la producción comercial en campo han demostrado los beneficios al obtener cosechas superiores, mediante la fertilización con silicio, tal como en la producción de arroz (15-100 %), maíz (15-35 %), trigo (10-30 %), cebada (10-40 %), caña de azúcar (55-150 %), diversos frutales como el aguacate, mango, (40-70 %), zarzamora, guayaba, hortalizas, Jitomate, Chile (50-150 %) y otros, como el fríjol, Pastos forrajeros, agave, también se promueven beneficios al suelo para mantener una agricultura sustentable. La fertilización mineral con Silicio tiene un doble efecto en el sistema suelo-planta. Primeramente, la nutrición con Silicio al cultivo refuerza en la planta su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha, la autoprotección contra enfermedades causadas por hongos y bacterias, el ataque de insectos y ácaros y de las condiciones desfavorables de clima, al estimular el desarrollo y actividad de estructuras poliméricas en la cutícula, los tricomas y fitolitos en la superficie de las hojas. En segundo lugar, el tratamiento del suelo con sustancias con Silicio biogeoquímicamente activo optimiza la fertilidad del suelo, a través de mejorar la retención y disponibilidad del agua, sus

propiedades físicas y químicas y de mantener los nutrientes en forma disponible para la planta.

b) El silicio restaura la degradación del suelo e incrementa su nivel de fertilidad para la producción agrícola. De 40 a 300 kg de Silicio por hectárea de suelo cultivado, son extraídos anualmente por las cosechas. La falta de ácidos monosilícicos y la disminución de silicio amorfo conducen a la destrucción de los complejos órgano-minerales, se aceleran la degradación de la materia orgánica del suelo y se empeora la composición mineral. La aplicación de fertilizantes minerales con silicio es obligatoria para una agricultura sustentable y altamente efectiva en cualquier tipo de suelo.

c) El silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua. La aplicación de Silicio mineral al suelo, remedia y restaura su estructura, incrementa la capacidad de retención de agua (de 30 a 100 %) y la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH's mayores a 7.0. Se incrementa la estabilidad ante la erosión al promover la formación de agregados coloidales. El Silicio ayuda al desarrollo del sistema radicular de la planta y puede incrementar la masa de raíces de un 50 a 200 %, por lo que también estimula el macollamiento (mayor número de tallos por semilla).

d) El silicio incrementa la resistencia a la sequía en las plantas. La fertilización con silicio puede optimizar el aprovechamiento del agua de riego en un 30 a 40 % y ampliar los intervalos del riego sin efectos negativos sobre las plantas. Adicionalmente al sistema irrigación-drenaje, la fertilización con

minerales de silicio activo, permiten completar la rehabilitación de suelos afectados por sales, compactación y bajos niveles de pH.

e) El silicio neutraliza la toxicidad causada por el aluminio en suelos ácidos

mucho mejor que el encalado. Existen cinco posibles mecanismos para la reducción de la toxicidad del aluminio por compuestos ricos en silicio; como la formación de ácidos silícicos, orto y meta, coloides, polímeros de silicio y complejos aluminio-silicatos. El encalado tiene un solo mecanismo, desafortunadamente la aplicación de encalado y de dolomita, fijan al fósforo y transforman al fósforo-disponible en no asimilable para la planta. Empleando materiales ricos en silicio para la reducción de la toxicidad del aluminio y optimización del pH, mejoran también la nutrición con fósforo, hierro, potasio y zinc, ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes.

f) El silicio aumenta la nutrición del fósforo en las plantas de un 40 a 60% e

incrementa la eficiencia de la aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%. La fertilización con minerales ricos en silicio promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables y previene la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles. Fertilizantes de lenta liberación se pueden fabricar con materiales ricos en silicio.

g) El silicio promueve la colonización por microorganismos simbióticos

(bacterias y hongos). El silicio mineral promueve la colonización sobre las

raíces de algas, líquenes, bacterias y micorrizas, mejorando la fijación y asimilación de nitrógeno y fósforo entre otros minerales.

h) El silicio reduce la lixiviación de fósforo, nitrógeno y potasio, en las áreas de cultivo agrícola. El silicio como mejorador, puede reducir la lixiviación de nutrientes en los suelos arenosos y guardarlos en una forma disponible para la planta, tales como coloides.

i) El silicio incrementa la resistencia de la planta a la salinidad. La fertilización con silicio puede aliviar el estrés causado por la salinidad en plantas cultivadas. Aunque existen pocas hipótesis que expliquen el efecto del silicio sobre el estrés salino.

j) El silicio protege a las plantas contra el ataque de las enfermedades, hongos e insectos. La acumulación de silicio en los tejidos de la epidermis en forma polimérica, orgánica y cristalina, permite proteger y fortalecer mecánica y bioquímicamente a los tejidos de la planta. El silicio se ha empleado eficazmente para controlar numerosas enfermedades causadas por hongos y ataques de insectos, tanto como, los pesticidas y fungicidas, pero sin efectos negativos para el medio ambiente. La cantidad de tricomas se estimula de un 20 a un 80%.

k) El silicio restaura áreas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos. Los fertilizantes minerales ricos en silicio pueden neutralizar el efecto tóxico de metales pesados y restaurar la fertilidad de la tierra. En

numerosos experimentos de invernadero y campo se demostró que materiales ricos en silicio pueden usarse como la parte integral de la nueva tecnología para la purificación y restauración de suelos contaminados con aceites y productos derivados de estos.

l) El silicio mejora el empleo de biosólidos. La mezcla de biosólidos como el estiércol de ganado y compostas con minerales ricos en silicio activo pueden transformar la presencia de contaminantes activos y tóxicos en materiales inertes. Además potencializa a los elementos minerales contenidos en ellos y reduce la lixiviación.

m) El silicio tiene acción sinérgica con el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). Los seis elementos presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha, también se mejora la vida media de las cosechas perecederas.

n) El silicio forma parte de la estructura de los tricomas. En plantas de fríjol, caña de azúcar, papa, chile, tomate, el silicio incrementa el número y tamaño de tricomas estructurales y glandulares, ya que forma parte de su estructura, y este puede ser el mecanismo por el cual el silicio mejora e incrementa la resistencia de los cultivos al ataque de insectos, hongos y bacterias.

ñ) El silicio aumenta la productividad en la horticultura. Hoy la agricultura mundial requiere anualmente de aproximadamente 800 mil toneladas de fertilizantes minerales ricos en silicio, para promover el desarrollo de una

agricultura saludable y sustentable. Esto invariablemente ocurrirá en suelos con mas de 700 ton/ha de silicio elemental y pH mayor a 7.5, donde ocurre también un alta capacidad de intercambio catiónico.

3.6.3. Importancia del silicio

El silicio (Si) es uno de los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre. No obstante, la acción de la meteorización hace que el silicio natural sea insuficiente para desempeñar su papel como nutriente de los cultivos, siendo necesaria una fertilización complementaria. Suelos muy meteorizados, altamente lixiviados, ácidos, con bajos niveles de silicio intercambiable son considerados pobres en silicio disponible para las plantas. El silicio es absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y fácilmente translocado en el xilema. La cantidad de fertilizante silicatado que debe ser aplicada aún no ha sido determinada para la mayoría de suelos y cultivos, pero todo indica que cuanto mayor cantidad de silicio soluble activo esté presente, mejores serán los beneficios para el suelo y la planta (Brady, 1992).

El sílice es tomado en grandes cantidades por la planta de arroz, aunque sus funciones en la fisiología del cultivo no son muy claras; los efectos del sílice han sido relacionados con: resistencia de la planta a enfermedades fungosas, ataque de insectos, mantenimiento de hojas y tallos erectos (resistencia al vuelco), eficiencia en el uso del agua, incremento en los rendimientos del cultivo y translocación del fósforo (Primavesi, 1984).

La solubilidad del sílice aumenta con el tiempo cuando el suelo se riega; igualmente, a medida que la materia orgánica es alta, la disponibilidad del sílice es mayor. Si tenemos en cuenta la elevada extracción de este elemento por el cultivo del arroz, el cual es diez veces más que el nitrógeno, y la nula restitución al suelo en los planes de fertilización, es probable que se esté causando un desbalance nutricional con respecto a este elemento. Además, existen otros factores que favorecen una deficiencia de sílice como son: altas concentraciones en el suelo en forma insoluble, la quema de residuos vegetales que aumenta la polimerización de los ácidos silícicos (no disponibles para la planta), la erosión que disminuye los contenidos de materia orgánica, alterando la población de microorganismos que intervienen en su mineralización, afectando también la disponibilidad del sílice (CIAT, 1985).

3.6.4. El sílice en las plantas: las cantidades

El aumento del déficit de silicio causa un número de consecuencias negativas para el suelo y la planta. El silicio es un elemento constitutivo del suelo, su carencia conduce a la degradación de la fertilidad de suelo. El silicio desempeña un papel importante en la planta. El elemento controla el desarrollo del sistema de la raíz, aumenta resistencia de las plantas a las temperaturas bajas o altas, viento, sal, los metales pesados y el ataque de insectos, hongos y enfermedades. Para Epstein (1999), el silicio está presente en las plantas en cantidades equivalentes a aquellos elementos

macronutrientes tales como Ca, Mg y P, y con frecuencia en los pastos en niveles más altos que cualquier otro constituyente inorgánico.

Horna (2007), manifiesta que el silicio refuerza en la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción.

Brady (1992), por su parte indica que cuanto mayor cantidad de silicio soluble activo esté presente, mejores serán los beneficios para el suelo y la planta.

Caicedo y Chavarriaga (2008), en Colombia, evaluaron el efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café, ratificando la influencia del silicio en el mayor desarrollo y crecimiento de brotes y ramas. Estos afirman que los resultados obtenidos permitieron ratificar la influencia del silicio en complemento con abonos orgánicos, en el mayor desarrollo y crecimiento de brotes, al igual que el mayor número de hojas, lo que influencia necesariamente en el peso seco total. Además indican que la misma tendencia encontraron en el crecimiento de la raíz, parte aérea y diámetro de tallo de los brotes a los seis meses de edad.

3.6.5. Relación del fósforo con el silicio

Aduayi, citado por Carrillo (1987), ha demostrado que el fósforo, como nutrimento en las primeras etapas de desarrollo del cafeto, es el responsable de formar cafetos vigorosos y con buen sistema de raíces, y promotor de la floración y desarrollo del fruto en la etapa de producción. En el almácigo, Salazar, citado por Carrillo (1987), encontró respuesta positiva al

fósforo. El elevado grado de “intemperización” de nuestros suelos (tropicales) reduce el tenor de silicio disponible para las plantas, así como la disponibilidad de fósforo (P) en el suelo. La diferencia es que la reducción de la disponibilidad del silicio ocurre debido a las pérdidas por lixiviación, en tanto que la disponibilidad del fósforo disminuye por la fijación. La gran mayoría de nuestros suelos tienen gran poder de fijación del fósforo; lo que los hace grandes competidores con las plantas por el fósforo suministrado por el fertilizante.

Cada vez que se aplican fertilizantes fosfatados en el suelo, se tienen pérdidas por fijación. Entre otros factores, esta pérdida será mayor cuando mayor haya sido la “intemperización” sufrida por el suelo, y cuando más arcillosa sea su textura. Algunos autores citan pérdidas de hasta un 70 % del fósforo aplicado en suelos del Brasil. Algunas prácticas minimizan el problema y mejoran el aprovechamiento del fósforo, como el encalado, la siembra directa, la aplicación localizada de fuentes de fósforo soluble y el uso de fuentes de fósforo con solubilidad gradual (Chueiri, 2004).

Se ha demostrado también una notable correlación silicio-fósforo (Si-P). El aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles, incrementa la asimilación del fósforo por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos. En suelos ácidos pobres en sílice resulta muy apropiado adicionar escorias básicas de defosforilación, las cuales junto al aporte de cantidades variables de Ca, Mg, Mn y Si sirven para

una mejora del pH del suelo y para favorecer la asimilación del fósforo (Navarro y Navarro, 2000).

Sephu (2009), afirma que el tratamiento de los suelos con Silicio biogeoquímicamente puede optimizar la fertilidad del suelo mejorando las propiedades hídricas, físicas y químicas del mismo, favoreciendo la asimilación de nutrientes. Por otra parte, la fertilización con Silicio puede aumentar la absorción de fósforo en los suelos ya que desbloquea formas fijadas de P en el suelo y lo pone en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas (Sephu, 2009).

3.7. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos, son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol, purín); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); vermicomposta, compost, preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados (RAAA, 2002).

El abono orgánico, es un proceso biológico en el cual la materia orgánica es degradada en un material relativamente estable parecido al humus. La mayoría de los abonos se llevan a cabo bajo condiciones anaeróbicas de manera que

los problemas del olor son minimizados. Cuando se termina, el abono es de color café oscuro o negro. Tiene un ligero olor a tierra o a moho y una textura suelta. El proceso se termina cuando el montón no se recalienta cuando se voltea, es decir la temperatura es constante (Porvenir, 2001).

3.7.1 Importancia de abonos orgánicos

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos (Cervantes, 1997).

No debemos olvidar la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental. Con estos abonos, aumentamos la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos, los cuales aportaremos posteriormente con los abonos minerales o inorgánicos (Cervantes, 1997).

3.7.2. Propiedades de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos tienen propiedades, que ejercen unos determinados efectos sobre el suelo, que hacen aumentar la fertilidad de este. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades (Cervantes, 1997).

3.7.2.1. Propiedades físicas

- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano.

3.7.2.2. Propiedades químicas.

- Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste.
- Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad.

3.7.2.3. Propiedades biológicas.

- Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

3.7.3. Tipos de abonos orgánicos

RAAA (2002), describe que existen diferentes tipos de abonos, entre los principales tenemos:

3.7.3.1 Estiércol

Los estiércoles son los excrementos de los animales que resultan como desechos del proceso de digestión de los alimentos que consumen. Generalmente entre el 60 y 80 % de lo que consume el animal lo elimina como estiércol. La estimación de la cantidad producida por un animal puede hacerse de la siguiente manera:

Peso promedio del animal x 20 = cantidad de estiércol/animal/año

La calidad de los estiércoles depende de la especie, del tipo de cama y del manejo que se le da a los estiércoles antes de ser aplicados. El contenido promedio de elementos químicos es de 1,5 % de N, 0,7 % P y 1,7 % K. Los estiércoles mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas e los suelos, particularmente cuando son utilizados en una cantidad no menor de 10 toneladas/ha al año, y de preferencia de manera diversificada.

Para obtener mayores ventajas deben aplicarse después de ser fermentados, y de preferencia cuando el suelo está con la humedad adecuada.

3.7.3.2. Gallinaza

La gallinaza es la principal fuente de nitrógeno en la fabricación de abonos fermentados, mejora las características de la fertilidad del suelo, principalmente con Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganese, Zinc, Cobre y Boro (Restrepo, 2001).

Uno de los fertilizantes más completos y que mejores nutrientes puede dar al suelo, es la gallinaza o estiércol de gallina, pues contiene Nitrógeno, Fósforo y Potasio en buena cantidad. Sin embargo, para su buen aprovechamiento, primero se le debe hacer un buen curado.

El estiércol de gallina es un fertilizante que cuenta con mayor concentración que el estiércol de vaca, debido a la alimentación que reciben los pollos y que son a base de balanceados concentrados, los cuales contienen mayores nutrientes que aquellos que consume la vaca, pues esta combina su alimento con pasturas (Moriya, 2007).

3.7.3.3 Guano de isla

Es una mezcla de excrementos de aves marinas, plumas, restos de aves muertas, huevos, etc., los cuales experimentan un proceso de fermentación lenta. El uso del guano de islas es conocido en América Latina desde hace más de 1500 años. Es uno de los abonos naturales de mejor calidad en el mundo, por su alto contenido de nutrientes, y puede tener 12 % de

nitrógeno, 11 % de P y 2 % de K. Se utiliza principalmente en los cultivos de caña, papa y hortalizas (RAAA, 2002).

3.7.3.4 Humus de lombriz

Se denomina humus de lombriz a los excrementos de las lombrices dedicadas especialmente a transformar residuos orgánicos y también a los que producen las lombrices de tierra como sus desechos de digestión.

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se ha adaptado muy bien a nuestras condiciones y está muy difundida en las diferentes regiones del país. Además, es el abono orgánico con mayor contenido de bacterias, tiene 2 billones de bacterias por gramo de humus; por esta razón su uso es efectivo en el mejoramiento de las propiedades biológicas del suelo. El humus debe aplicarse en una cantidad mínima de 3 toneladas por año. Su uso se justifica principalmente para la fertilización integral (orgánica-mineral) en cultivos de alta rentabilidad, particularmente hortalizas (RAAA, 2002).

3.7.3.5. Compost

Es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas. Este abono también se le conoce como "tierra vegetal" o "mantillo". Su calidad depende de los insumos que se han utilizado (tipo de estiércol y residuos vegetales), pero en promedio tiene 1,04

% de N, 0,8 % P y 1,5 % K. Puede tener elementos contaminantes si se ha utilizado basura urbana.

Cuando se usa estiércol de vacuno estabulado (leche o engorde) existen riesgos de problemas por sales. En estos casos se debe utilizar una cantidad reducida de estiércol y abundante paja. Es muy apreciado en los viveros, para realizar diversos tipos de mezclas con arena y tierra de chacra que sirven para realizar almácigos de hortalizas, flores, arbustos o árboles (RAAA, 2002).

3.7.3.6 Abonos orgánicos estándares.

Sánchez (2009), menciona que los abonos orgánicos son aquellos de origen orgánico y minerales que se pueden descomponer por la acción de microbios y del trabajo del ser humano, cuyos usos están permitidos por las normas de producción orgánica previo. A continuación se presenta una lista de abonos orgánicos minerales recomendados para la producción de cafés especiales:

- Roca fosfórica, conteniendo 31% de P y 46% de Ca.
- Sulfato de potasio, con 50% de K
- Magnocal, con 22% de Ca, 20% de Mg y 22% de S.
- Sulfato de Magnesio, con 22% de Mg y 24% de S.
- Ulexita, con 2% de K, 2% de Mg, 6% de S y 15% de B.
- Sulfato de cobre, con 25% de Cu.
- Sulfato de zin, con 47% de Zn.
- Manganeseo, con 99% de Mn.

- Dolomita, con 26% de Ca y 22% de Mg.
- Yeso Agrícola, con 46% de Ca y 40% de S.

3.8 Fertilización de la planta podada

La demanda de nutrientes por la planta podada de café se reduce considerablemente en función de la modificación de los procesos fisiológicos, en especial cuando se ha aplicado poda de recepas; en este caso, no hay cosecha durante dos años, por tanto no hay exportación de elementos nutricionales sino requerimientos limitados al proceso de formación y desarrollo de los brotes. Este hecho explica la falta de respuesta a la fertilización en plantas podadas, tal como lo señalan Alfaro y Moreira (1985), citados por Ramírez (1996), quienes en un estudio realizado en Costa Rica mostraron que el abonamiento del tronco podado de café no aumenta significativamente la producción en la primera cosecha; por lo tanto, la fertilización de los hijos de poda durante el primer año no es necesaria.

En El Salvador, Gómez y Pérez (1995), evaluaron diferentes planes de fertilización de tres localidades en fincas sembradas con café (variedad Pacas), manejada con podas por calles en ciclos de tres años. En las recepas del año se evaluaron la dosis completa (DC), 1/3 y 1/2 de la misma; en las recepas del próximo año, (DC), 1/3, 1/2 y sin fertilización; a las recepas de un año (DC), 1/3 y 1/2. Finalmente, la planta adulta, dosis completa. Estos niveles fueron estructurados en cinco programas diferentes, observándose al final del ciclo que no se registraron diferencias significativas entre los mismos en el desarrollo de los brotes, capacidad de brotamiento, altura, diámetro y

producción de café. El análisis económico identificó como mejor programa 1/3 de la dosis completa en la recepa del año, la no aplicación de fertilizante en la planta a recepar el próximo año y dosis completa en la planta adulta. El ahorro promedio en fertilizantes con este programa fue de 59.4 % en relación con el testigo con dosis completa; no obstante, el autor concluye que, independientemente de la utilización o no de fertilizantes al suelo en los diferentes edades de recepa, hay que considerar la aplicación de fertilizantes foliares como complemento para el normal desarrollo de las plantas.

3.9. Sobre la evaluación del área foliar

El IAF permite estimar la capacidad fotosintética de las plantas y puede ayudar a entender la relación entre la acumulación de biomasa, rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales. Determinar la relación entre el IAF y rendimiento de grano, podría ser una herramienta útil para el desarrollo de modelos precisos de predicción de cosecha.

A nivel experimental se ha demostrado que la acumulación de materia seca a la cosecha y el índice de área foliar (IAF) son características que se relacionan estrechamente con el rendimiento en frijol (Acosta-Gallegos y Adams, 1991). Sin embargo, la determinación de materia seca e IAF se efectúa por medio de métodos destructivos lo cual implica restricciones operativas. Así mismo, la materia seca se determina cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica, es decir, hasta que el cultivo termina el ciclo biológico y además, este procedimiento demanda gran cantidad de mano de obra y es necesario contar con un medidor electrónico de área (Galván *et al.*,

2003). En la actualidad existen métodos alternativos para estimar el IAF (Padilla-Ramírez *et al.*, 2005): uno de ellos es el “directo”, el cual consiste en obtener una muestra de trifolios centrales de las plantas en un área determinada, se mide el área foliar en un integrador electrónico el cual determina el peso seco de los trifolios; con la relación entre estas dos variables se estima el área foliar de planta y se obtiene el IAF.

Otro método no destructivo, pero que requiere el uso de un ceptómetro lineal, con el cual se estima con buena precisión el IAF en diferentes etapas del cultivo. Este equipo se ha utilizado en maíz, en el que se obtuvieron coeficientes de correlación entre el IAF y el rendimiento superiores a 0.9 bajo condiciones de riego (Wilhelm *et al.*, 2002; Báez-González *et al.*, 2002; Báez-González *et al.*, 2005).

García *et al.* (2010), recomienda la estimación no destructiva del área foliar, pesando pesan los papeles con las figuras de las hojas por separado y se anotan los valores, luego se prepara un dm^2 y esto equivale a 10 cm x10 cm, y se pesa y se anota ese resultado. Los siguientes pasos son: Cortar las figuras de las hojas, Pesarlas, Identificarlas y anotar los datos obtenido por medición. El área foliar se obtiene por regla de tres (diferencia de pesos)

A cada hoja de la muestra se le determinó su masa fresca extrayendo de cuatro a seis discos de tejidos de cada lámina foliar. Posteriormente, se obtuvo la masa fresca de cada uno y se halló la media y el coeficiente de variación de los discos (Pire y Valenzuela 1995).

El área foliar, se obtuvo por el método de relación peso: área o del “sacabocado” de 2,30cm de diámetro ($\text{área}=4,1548\text{cm}^2$), el cual, es explicado de la siguiente manera: a cada hoja de la muestra se le determinó su masa fresca, extrayendo seis discos de tejidos de cada lámina foliar, luego, se obtuvo la masa fresca de cada uno y se halló la media y el coeficiente de variación de los discos (Pire y Valenzuela, 1995).

La necesidad de estos equipamientos limita la utilización del área foliar como variable en estudios de daños por enfermedades, a pesar de su importancia. Por eso, métodos más simples podrían ser empleados, desde que sean obtenidos a través de un integralizador de área foliar. El peso fresco o seco de las hojas potencialmente puede ser útil para tales determinaciones.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Característica del área experimental

4.1.1 Ubicación del Campo Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Alonso de Alvarado Roque, localidad de Bajo Progreso, fundo “EL CHAMISAL” propiedad del Sr: Normel Pérez Gil. Esta localidad se encuentra aproximadamente a 4 Km del distrito, el camino de acceso es a través de trocha carroable.

a. Ubicación Geográfica.

Longitud Oeste : X 18° 32' 4.08"

Latitud Sur : Y 83° 27' 19"

Altitud : 1124 msnm

b. Ubicación Política.

Departamento : San Martín

Provincia : Lamas

Distrito : Alonso de Alvarado Roque

4.1.2. Historia de campo experimental

El campo experimental comprendió un área dedicada netamente al cultivo de cafeto con variedades Caturra, Nacional y en su mayoría Catimor. Estos fueron sembrados el 13 de Marzo del 1998, asociadas con especies de sombra del género Inga a un distanciamiento de 10 x 10 m pero actualmente estas plantas están distribuidas heterogéneamente por los raleos realizados anteriormente. La plantación se encuentra establecida bajo un sistema de

siembra rectangular a distanciamiento de 2 x 1.2 m. Las plantas tienen más de 12 años de edad y desde hace aproximadamente tres años su producción es relativamente baja, como consecuencia de haber sido abandonadas por el productor, su fisiografía presenta un relieve medio con una pendiente aproximada de 15%.

4.1.3. Características ecológicas

a. Clima

Ecológicamente el área de trabajo estuvo ubicado en la zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-t) en la Selva Alta del Perú (ONERN, 1992). Las condiciones climáticas referidas a temperaturas y precipitaciones mensuales registradas durante el período experimental en la zona de estudio, se indica en siguiente cuadro:

Cuadro 1: Datos Meteorológicos durante la realización del trabajo de investigación.

| Meses | TEMEPERATURA | | | PRECIPITACIÓN mm/mes |
|-------------|--------------|--------|--------|-------------------------|
| | Máxima | Mínima | Media | |
| Febrero | 27.2 | 19.96 | 23.58 | 181.50 |
| Marzo | 26.95 | 20.63 | 23.79 | 140.00 |
| Abril | 25.56 | 19.47 | 22.51 | 148.90 |
| Mayo | 26.41 | 19.03 | 22.72 | 186.60 |
| Junio | 25.52 | 19.38 | 22.45 | 57.50 |
| Julio | 27.52 | 20.14 | 23.83 | 77.80 |
| Total | 159.16 | 118.61 | 138.88 | 792.30 |
| Promedio | 26.53 | 19.77 | 23.15 | 132.05 |
| Prom. anual | | | | 1483.8 |

Fuente Temperatura: Elaboración propia (2010)

Fuente Precipitación: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) –Estación PLU “PACAYZAPA”.

c. Características del Suelo

Para conocer las características físico-químicas del suelo del área experimental, se tomaron muestras de suelo antes y después de la aplicación de los abonos. El primer muestreo se realizó al empezar el trabajo de investigación, tomando muestras a 20 cm de profundidad en las parcelas del tratamiento testigo (T0). El siguiente muestreo se realizó al final del experimento para los demás tratamientos (T1; T2; T3; T4). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). Las determinaciones realizadas y métodos empleados para los mismos se indican a continuación.

Cuadro 2: Metodología para el análisis de suelo

| DETERMINACIONES | MÉTODOS |
|-----------------------|---|
| Textura | Hidrómetro |
| pH | Potenciómetro suspensión suelo-agua relac1:2.5 |
| Conduct. Eléctrica | Conductímetro suspensión suelo – agua 1:2:5 |
| Carbonatos | Gas – □volumetría |
| Fosforo disponible | Olsen modificado Extract NaHCO_3 =0.5m, pH 8.5 Esp. Vis |
| Potasio disponible | Olsen modificado extract NaHCO_3 =0.5m, pH 8.5 Esp. Vis absorción atómica |
| Materia orgánica | Walkley y Black |
| Calcio y Magnesio | Extract KCL 0.1 N Espect. Absorción atómica |
| Acidez intercambiable | Extract KCL 1N, □volumetría |

Los resultados analíticos encontrados se presentan en el siguiente cuadro.

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

Cuadro 3: Resultado del análisis Físico - Químico del suelo del campo experimental.

| TRATAMIENTOS | pH | C.E dS/m | M.O (%) | N kg/Ha | P (ppm) | K ₂ O kg/Ha | ANALISIS MECANICO | | | | CIC | CATIONES CAMBIABLES | | | | | | Suma de Bases | % Sat de Bases |
|--------------|------|-------------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------------|-------|---------|-------------------|-------|---------------------|------|------|-----|-----------|-------|------------------|----------------------|
| | | | | | | | Arena | Limo | Arcilla | CLASE TEXTURAL | | Ca2+ | Mg2+ | K+ | Na+ | Al3+ + H+ | | | |
| | | | | | | | % | | | | | meq/100 | | | | | | | |
| T0 | 5.36 | 0.70 | 2.12 | 42.4 | 5.20 | 50.50 | 33.6 | 25.20 | 41.2 | Arc | 13.70 | 10.00 | 2.00 | 0.09 | | 1.60 | 13.69 | 100 | |
| T1 | 6.01 | 0.70 | 2.08 | 41.2 | 13.00 | 61.77 | 34.5 | 24.30 | 41.2 | Arc | 30.11 | 25.00 | 5.00 | 0.11 | | 0.00 | 30.11 | 100 | |
| T2 | 5.78 | 0.70 | 2.14 | 42.8 | 7.00 | 44.90 | 32.4 | 27.00 | 40.6 | Arc | 18.8 | 15.00 | 3.00 | 0.08 | | 0.00 | 18.08 | 100 | |
| T3 | 5.81 | 0.70 | 2.36 | 47.2 | 10.00 | 50.50 | 33.6 | 25.00 | 41.4 | Arc | 20.09 | 16.70 | 3.33 | 0.09 | | 0.00 | 20.12 | 100 | |
| T4 | 6.54 | 0.70 | 3.22 | 77.28 | 9.00 | 87.60 | 36.8 | 24.80 | 38.4 | Frco Arc | 37.90 | 30.80 | 6.16 | 0.09 | | 0.00 | 37.05 | 100 | |

Fuente: Instituto de Cultivos Tropicales (ICT – NAS/CICAD – OEA), laboratorio de análisis de suelos, plantas aguas y fertilizantes – 2010.

4.2. Métodos

4.2.1. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con 3 repeticiones y 5 tratamientos, haciendo un total de 15 unidades experimentales, donde se estudió el efecto de una solución enriquecida de silicio más abonos orgánicos en el cultivo de café variedad catimor.

4.2.2. Tratamientos estudiados

Utilizando al **Cultivo:** Café, Variedad “Catimor”, como cultivos indicador, los tratamientos utilizados fueron combinaciones del **Abono Organo-Mineral** (Formulación estándar) compuesta por: Guano de isla, roca fosfórica, sulfato de potasio, ulexita, magnecal, sulfato de cobre, sulfato de zinc, sulfato de manganeso (**A.O**) y una **Solución de minerales y ácidos orgánicos** enriquecida con tres (03) dosis de Silicio (5, 10, 15 cc silicio/planta/campaña), más un testigo absoluto (T0), que no recibió aplicación alguna. Ver cuadro 4.

Cuadro 4: Tratamientos en estudio

| CLAVE | TRATAMIENTOS |
|-------|---------------------------------------|
| T0 | Sin aplicación. |
| T1 | Abono Orgánico Estándar (A.O). |
| T2 | A. O. + 5 cc Silicio /planta/campaña. |
| T3 | A. O. + 10 cc Silicio/planta/campaña. |
| T4 | A. O. + 15 cc Silicio/planta/campaña. |

4.2.3. Elementos que componen los abonos utilizados

4.2.3.1. Abono Orgánico estándar.

- Guano de Isla. : 44 g./planta
- Roca fosfórica. : 23 g./planta
- Sulfato de Potasio. : 21 g./planta
- Ulexita. : 05 g./planta
- Magnocal. : 10 g./planta
- Sulfato Cobre. : 0.4 g./planta
- Sulfato de Zinc. : 0.4 g./planta
- Sulfato de Manganeseo. : 0.4 g./planta

4.2.3.2. Composición de la solución enriquecida con silicio.

Como fuente de silicio se aplicó el fertilizante líquido conocido comercialmente como QUICK SOL, cuya composición es el siguiente:

- Silicio → 36 %
- Sodio → 06 %
- Oxígeno → 22 %
- Hidrógeno → 33 %
- Ácido Húmico y Fúlvico → 2 %
- Calcio → < 1 %
- Magnesio → < 1 %
- Manganeseo → < 1 %
- Hierro → < 1 %
- Cobre → < 1 %

4.2.4. Metodología de trabajo en campo

4.2.4.1. Reconocimiento del área experimental

En el reconocimiento del área experimental, se eligió plantaciones de cafeto de la variedad catimor que se encontraban en abandono es decir parcelas improductivas por lo cual el agricultor prefirió sembrar pastos, estas plantaciones fueron mayores de diez años de edad.



Foto 1: Plantaciones improductivas.



Foto 2: Plantaciones abandonadas.

4.2.4.2. Toma de muestra de suelo.

La toma de muestras de suelo se realizó antes y al final de la aplicación de los abonos, utilizando la técnica del zig –zag, haciendo uso de una palana a una profundidad de 20 cm y en forma de “V” de cada unidad experimental. Estas fueron puestas en bolsas de polietileno con su respectiva etiqueta de identificación, para luego ser llevado al laboratorio de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) para su respectivo análisis y de esta manera poder comparar los cambios que se produjeron por la aplicación de los productos empleados.



Foto 3: Muestreo inicial de suelo.



Foto 4: Muestreo final de suelo/tratamiento.

4.2.4.3. Aplicación de los abonos antes de la poda de rehabilitación

Se aplicó primero el silicio en las dosis correspondientes por tratamiento, dicha labor se realizó el 18 de febrero del año 2010 el cual se ejecutó con la ayuda de un aspersor manual. Tres días después de la primera aplicación del silicio, se procedió a aplicar los abonos orgánicos con la dosis correspondiente de acuerdo a la recomendación de Sánchez Escalante. La aplicación se hizo en todos los tratamientos (T1 = Abonos orgánicos; T2 = Abonos orgánicos + 5 cc de Silicio/planta; T3 = Abonos orgánicos + 10 cc de Silicio/planta, T4 = Abonos orgánicos + 15 cc de Silicio/planta.) a excepción del testigo (T0) al que no se le hizo ninguna aplicación.



Foto 5: limpieza de la hojarasca.



Foto 6: Aplicación de Silicio .

4.2.4.4. Poda de rehabilitación

La poda de rehabilitación se realizó a los 30 días después de la aplicación de los abonos orgánicos específicamente el 21 de marzo del 2010, cortando las plantas entre 20 a 25 cm del suelo en forma de bisel, dicha actividad se ejecutó con la ayuda de una motosierra, esta labor se realizó en todos los tratamientos. Luego se aplicó caldo sulfocálcico en el eje de la planta para evitar que los hongos penetren causando su muerte.



Foto 7: Poda de rehabilitación.



Foto 8: Aplicación de caldo sulfocálcico.

4.2.4.5. Aplicaciones de silicio orgánico después de la poda.

Se realizaron 10 aplicaciones en las dosis correspondientes por tratamiento con la ayuda de un aspersor manual, en la cual la primera aplicación se hizo a los 12 días después de la poda de rehabilitación teniendo en cuenta que las aplicaciones con la solución enriquecida con silicio se hicieron cada 15 días después de la primera aplicación de estos. Para la realización de esta actividad se limpió la hojarasca a fin de permitir el contacto entre el abono y el suelo.

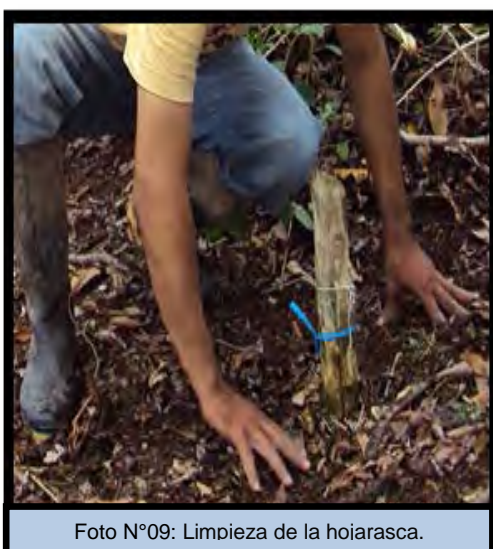


Foto N°09: Limpieza de la hojarasca.



Foto N°08: Aplicación de Silicio orgánico

4.2.5. Parámetros evaluados:

Las evaluaciones realizadas en el cultivo de café a nivel de campo fueron:

4.2.5.1. Días al brotamiento: Se evaluó desde el primer día de la poda de rehabilitación, evaluándose los 10 primeros brotes de cada planta.

4.2.5.2. Numero de brotes por planta: Se evaluó desde el primer día de la poda paralelo a las otras evaluaciones hasta los últimos meses de la evaluación para observar en absoluto todos los brotes de las plantas seleccionadas. A medida que aparecían los brotes se fue seleccionando las plantas a evaluar de los cuales se tomaron 03 brotes por planta y se señalaron con pintura en tres colores (azul, amarillo, y rojo; planta 01, 02 y 03 respectivamente) a partir de ello comenzaron las evaluaciones para los demás parámetros.

4.2.5.3. Tamaño de brote: Se tomaron 5 evaluaciones durante el periodo de las evaluaciones. Se tomó las medidas en cm con una wincha, Las medidas se tomaron cuando los brotes empezaron a crecer, desde la base hasta el ápice.

4.2.5.4. Diámetro de brote: Se tomaron 5 evaluaciones durante el periodo de las evaluaciones. Se utilizó el instrumento de medición llamado vernier para tener una mejor precisión de las medidas que están en milímetros. Las medidas se realizaron en el tercio medio de la planta.

4.2.5.5. Numero de ramas por brote: Se tomaron 5 evaluaciones durante el periodo de las evaluaciones. Dichas evaluaciones se realizaron por conteo cuando la planta alcanzó un mayor desarrollo y crecimiento.

4.2.5.6. Número de hojas por brote: Se tomaron 5 evaluaciones durante el periodo de las evaluaciones. Se evaluó por conteo numérico el número de hojas que

progresivamente iban formándose de cada una de las ramas correspondiente a cada brote.

4.2.5.7. Área foliar: Esta variable fue medida adaptando el método de estimación de área foliar no destructivo desarrollado por Cardona *et al.*, (2010) y la desarrollada por Pire y Valenzuela (1995), para lo cual se tomó una hoja por brote, debidamente codificada, primero se pesó la hoja completa, luego se extrajo 1 cm² de la hoja para pesar en una balanza analítica, posteriormente se hizo la relación por regla de tres simple para saber el área total de la hoja, Se optó este método por ser de mayor confianza y de mayor precisión, la unidad del área está en cm².

V. RESULTADOS

5.1. Días al brotamiento

En las plantas antiguas de café las yemas permanecen latentes linealmente sobre el tallo, son menos visibles y tienden a desaparecer durante el crecimiento del tallo principal. Al interrumpirse el estado latente con el corte del tallo, se produce el brote de las yemas de forma masiva, lo que permite la renovación del tejido productivo de la planta, en el gráfico 1 muestra los resultados obtenidos en cuanto a los días al brotamiento.

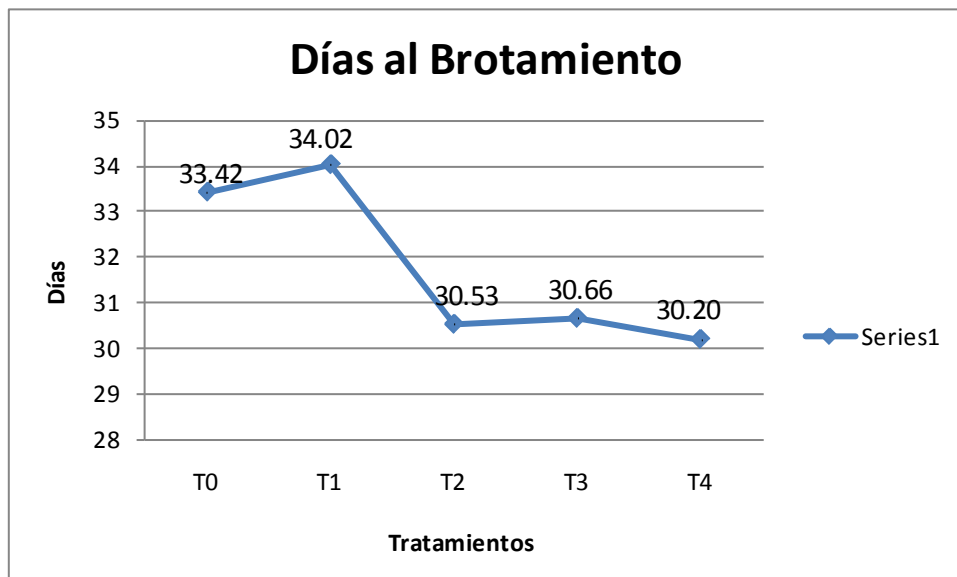


Gráfico 1: Días al brotamiento

5.2. Número de brotes por planta.

Cuadro 4: Análisis de Varianza para Número de brotes/planta.

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|-------------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 1.47 | 0.74 | 0.76 | N.S. |
| Tratamiento | 4 | 12.12 | 3.03 | 3.12 | N.S. |
| Error | 8 | 7.79 | 0.97 | | |
| Total | 14 | 21.38 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$$R^2 = 63.56\%$$

$$C.V. = 11.65\%$$

$$\bar{X} = 8.45$$

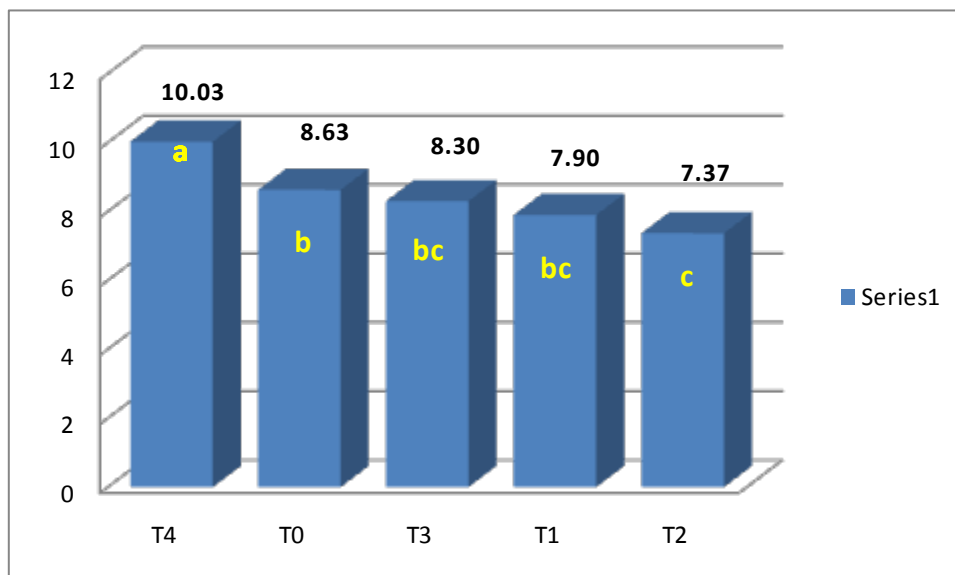


Gráfico 2: Prueba de Duncan para número de brotes.

5.3. Tamaño de brotes.

Cuadro 5: Análisis de Varianza para Tamaño de brotes.

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 38.16 | 19.08 | 8.79 | ** |
| Tratamiento | 4 | 13.93 | 3.48 | 1.60 | N.S. |
| Error | 8 | 17.33 | 2.17 | | |
| Total | 14 | 69.42 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$R^2 = 75.03\%$

C.V. = 8.72%

$\bar{X} = 16.88$

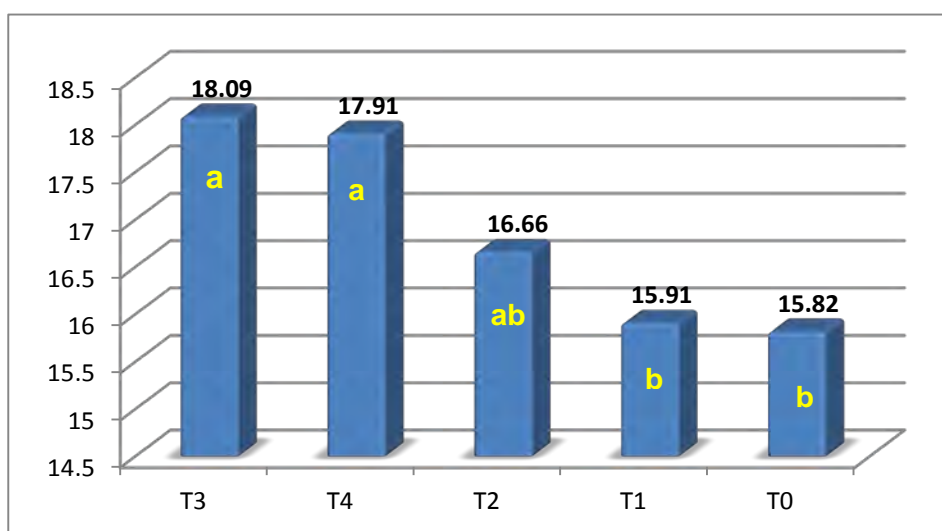


Gráfico 3: Prueba de Duncan para tamaño de brotes.

5.4. Diámetro de brotes.

Cuadro 6: Análisis de Varianza para diámetro de brotes

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|-------------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 0.23 | 0.12 | 0.8 | N.S. |
| Tratamiento | 4 | 1.99 | 0.49 | 3.26 | N.S. |
| Error | 8 | 1.26 | 0.15 | | |
| Total | 14 | 3.48 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$$R^2 = 63.79\%$$

$$C.V. = 7.9\%$$

$$\bar{X} = 4.85$$

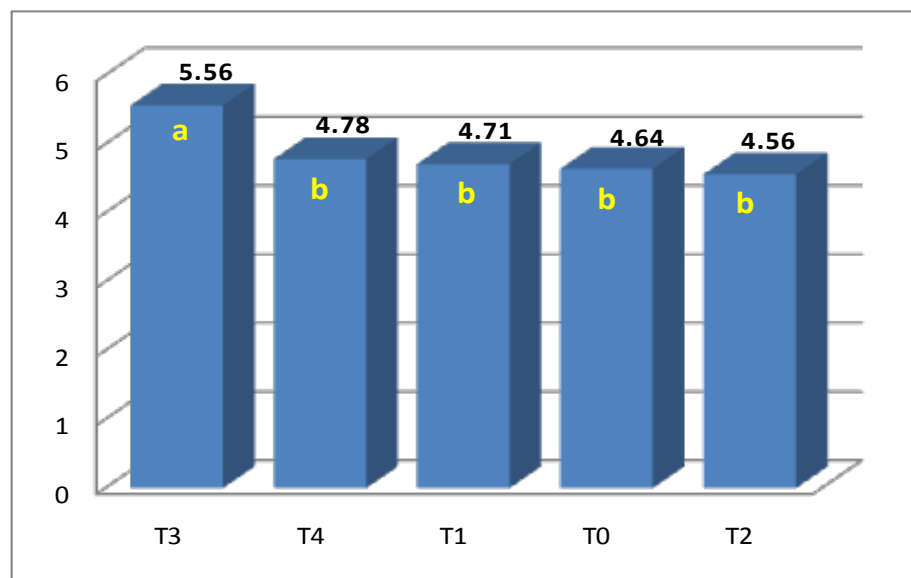


Gráfico 4: Prueba de Duncan para diámetro de brotes

5.5. Número de ramas por brote

Cuadro 7: Análisis de Varianza para número de ramas

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|-------------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 0.10 | 0.05 | 0.29 | N.S. |
| Tratamiento | 4 | 3.45 | 0.86 | 5.05 | * |
| Error | 8 | 1.36 | 0.17 | | |
| Total | 14 | 4.91 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$$R^2 = 72.3\%$$

$$C.V. = 13.21\%$$

$$\bar{X} = 3.12$$

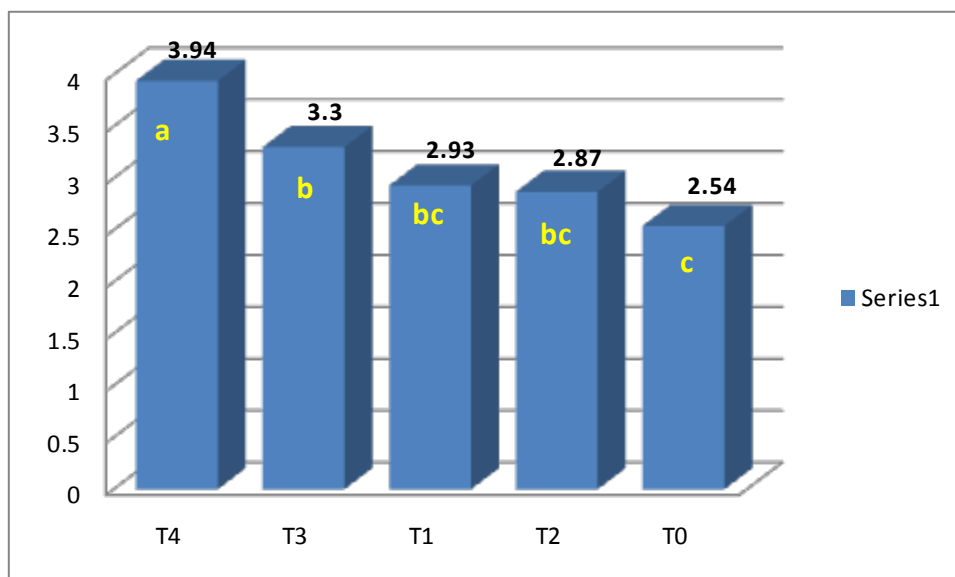


Gráfico 5: Prueba de Duncan para número de ramas

5.6. Número de hojas por brote

Cuadro 8: Análisis de Varianza para número de hojas

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|-------------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 35.07 | 17.54 | 4.67 | * |
| Tratamiento | 4 | 33.10 | 8.28 | 2.21 | N.S. |
| Error | 8 | 30.01 | 3.75 | | |
| Total | 14 | 98.18 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$R^2 = 69.43\%$

C.V. = 11.06%

$\bar{X} = 17.50$

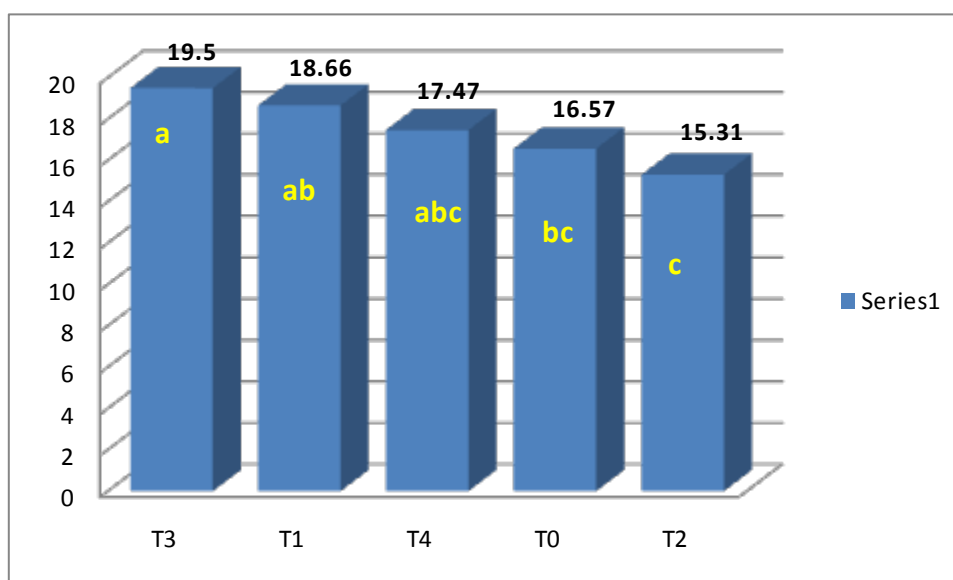


Gráfico 6: Prueba de Duncan para número de hojas

5.7 Área foliar

Cuadro 9: Análisis de Varianza para Área foliar

| F. V | G.L. | S. C. | C. M. | F. C. | Signific. |
|--------------------|------|--------|-------|-------|-----------|
| Bloques | 2 | 182.42 | 91.21 | 4.05 | N.S. |
| Tratamiento | 4 | 166.08 | 41.52 | 1.84 | N.S. |
| Error | 8 | 179.87 | 22.48 | | |
| Total | 14 | 528.37 | | | |

N. S.= No Significativo

* * = Altamente significativo

$R^2 = 65.95\%$

C.V. = 6.2 %

$\bar{X} = 75.51$

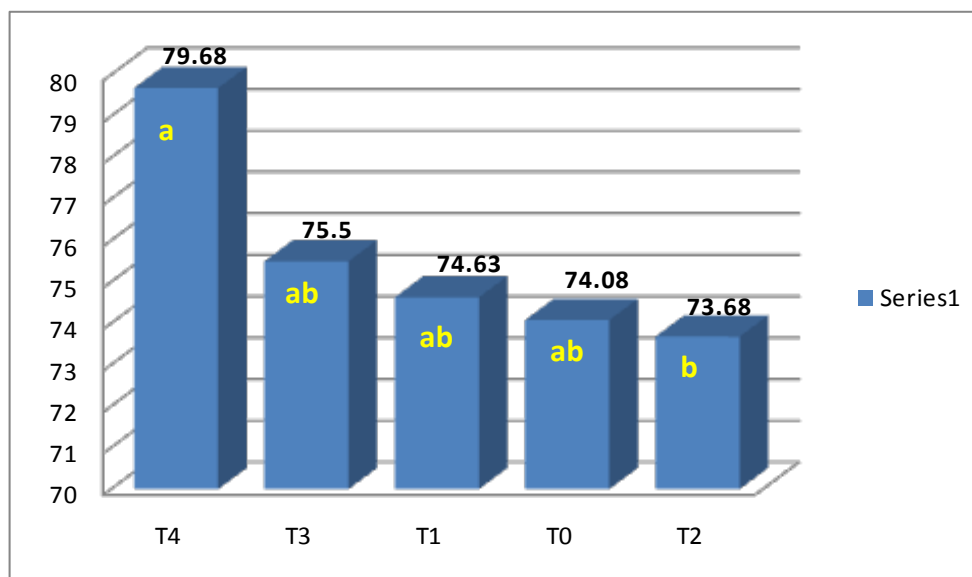


Gráfico 7: Prueba de Duncan para Área foliar

VI. DISCUSIONES

6.1 De los días al brotamiento

El gráfico 1, muestra los días al brotamiento promedio del café en los diferentes tratamientos evaluados. En el se puede apreciar que los tratamientos con la aplicación de la solución enriquecida con silicio fueron los que tuvieron mayor precocidad de brotamiento después de la poda de rehabilitación, sin existir significación estadística entre ellos. Al respecto, el tratamiento T2 (5 cc Si), tuvo un brotamiento a los 30.53 días, el T3 (10 cc Si) a los 30.66 días y el T4 (15 cc Si) a los 30.20 días, que superaron al Testigo absoluto (T0) y al T1 (Testigo sin aplicación de Si), que tuvieron brotamientos a los 33.42 y 34.02 días, respectivamente.

Estos resultados ponen de manifiesto el efecto benéfico del silicio en cuanto a la aceleración de la aparición de brotes en las plantas de café podadas, lo cual se puede atribuir a la mejora en la nutrición de la planta, pues de acuerdo a lo que afirma SEPHU (2009), el tratamiento de los suelos con silicio biogeoquímicamente puede optimizar la fertilidad del suelo mejorando las propiedades hídricas, físicas y químicas del mismo, favoreciendo la asimilación de nutrientes. Por otra parte, la fertilización con Silicio puede aumentar la absorción de fósforo en los suelos ya que desbloquea formas fijadas de P en el suelo y lo pone en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas (SEPHU, 2009).

6.2 De los números de brotes por planta.

El cuadro 4 y gráfico 2, presentan los resultados del análisis de varianza y Prueba de Duncan, respectivamente, para el número de brotes por planta evaluada. En cuanto a éste parámetro, el ANVA (Cuadro 6) muestra que no hubo diferencias estadísticamente significativas ni entre bloques ni entre tratamientos. Sin embargo, la Prueba de Duncan (Gráfico 2), sí presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, particularmente entre el Tratamiento T4 (15 cc Si) y los demás tratamientos. En el tratamiento T4, el número de brotes fue de 10.03 en promedio, mientras que los demás tratamientos T0, T3, T1, T2, que son estadísticamente iguales, lograron promedios de 8.63, 8.30, 7.90 y 7.37 brotes/planta, respectivamente. Como se puede apreciar, solo la dosis de 15 cc de Sílice indujo mayor número de brotes, lo cual podría explicarse en razón a la mayor cantidad del elemento Silicio aplicado que beneficia tanto a nivel de suelo, mejorando la nutrición, como a nivel de células en los brotes de la planta, induciendo mayor número de ellos por estar mejor abastecida de nutrientes.

Lo anterior se sustenta en la aseveración de Horna (2007), quien manifiesta que el Silicio refuerza a la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción. Esto sugiere que en este tratamiento es posible que las plantas hayan tenido mayor energía para desarrollar sus brotes. Lo anterior es corroborado por Brady (1992), quien indica que cuanta mayor cantidad de silicio soluble activo esté presente, mejores serán los beneficios para el suelo y la planta.

6.3 Del tamaño de brotes.

El cuadro 5 muestra el análisis de varianza para el tamaño de brotes en respuesta a los tratamientos evaluados. Aquí se observa que hubo una diferencia altamente significativa para los bloques, mas no así para los tratamientos. Por su parte, en el gráfico 3 de la prueba de Duncan si se puede apreciar dos grupos que difieren estadísticamente. El grupo de los tratamientos T3 y T4 que sobresalieron con un promedio de 18.09 cm y 17.91 cm por brote, respectivamente y el grupo de los tratamientos T2, T1, T0 que fueron los de menor tamaño con un crecimiento de 16.66 cm, 15.91 cm y 15.82 cm. Respectivamente. Lo anterior pone en evidencia de nuevo que las mayores dosis de silicio aplicado al suelo han dado los mejores resultados, ratificando la afirmación de Brady (1992), quien afirma que si bien la cantidad de fertilizante silicatado a aplicarse aún no ha sido determinada para la mayoría de suelos y cultivos, pero todo indica que cuanto mayor cantidad de silicio soluble activo esté presente, mejores serán los beneficios para el suelo y la planta.

6.4 Del diámetro de brotes.

Los resultados de Análisis Estadístico ANVA y Prueba de Duncan para conocer el efecto de las dosis de Sílice sobre el parámetro diámetro de brotes en café después de la poda, se observa en el cuadro 6 y gráfico 4.

Al revisar el cuadro del ANVA (Cuadro 6) se puede apreciar que no existe diferencias estadísticamente significativas para los bloques ni para los tratamientos, mientras que en la prueba de Duncan (Gráfico 4) sí hubo

diferencias estadísticas entre el tratamiento T3 (10 cc Si) versus los otros tratamientos. El diámetro de brotes más sobresaliente fue de 5.56 mm en promedio para el tratamiento T3, en tanto que los tratamientos T4, T1, T0, T2 tuvieron diámetros de 4,78 mm, 4,71 mm, 4,64 mm y 4,56 mm, respectivamente, siendo menores que la anterior y estadísticamente iguales entre ellos.

El resultado superior alcanzado con el tratamiento T3, es una manifestación importante de que el Sílice en dosis como la que se aplicó intervino positivamente para favorecer el engrosamiento de los brotes. Para el caso de los demás tratamientos donde se aplicó silicio que no tuvieron mayor efecto, puede atribuirse a las diferencias en la velocidad de absorción de los nutrientes por las plantas propia de cada una de ellas, que puede estar determinada por la variación en el movimiento del agua en el suelo y transporte de los nutrientes. Sin embargo a pesar de ello la comparación del resultado sugiere que el silicio tuvo un efecto benéfico en los tratamientos de mayor dosificación. Resultados similares fueron reportados por Gómez y Pérez (1995), en El Salvador que evaluaron dosis de silicio en café después de la poda, no habiendo encontrado diferencias significativas en este parámetro.

Partiendo de que los Hidratos de Carbono o Glúcidos son sustancias energéticas que son quemadas en la célula para conseguir energía. También se les puede llamar azúcares. El principal y más abundante es la Glucosa. En tal sentido, el silicio se deposita en forma amorfa en las paredes celulares.

Contribuye con las propiedades mecánicas de la pared como son la rigidez y la elasticidad. Muchas especies acumulan concentraciones apreciables de sílice en sus tejidos y mejoran su crecimiento y fertilidad cuando se les suministra cantidades adecuadas de silicio. En las gramíneas, no solamente se deposita en la pared celular de la epidermis, pelos, brácteas, etc., sino también en el interior, como sucede en las células buliformes y en el xilema (Libro Botánica Online, 2007). El silicio es depositado como silica hidratada amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), primeramente en el retículo endoplasmático, pared celular y en los espacios intercelulares. Intracelularmente, se acumula también en células epidérmicas especializadas llamadas células silíceas. Así mismo, forma complejos con polifenoles reforzando la pared celular. Se ha comprobado su esencialidad en la caña de azúcar, el tomate, el arroz y el pepino (Libro Botánica Online, 2007).

El Silicio, una vez aplicado al suelo reacciona con el agua transformándose en ácido monosilícico (H_4SiO_4) moviéndose rápidamente a través del xilema. Cuando la planta transpira, pierde el agua absorbida por el Silicio, formando una barrera protectora presentando una Resistencia Mecánica al ataque de enfermedades e insectos. Al acumularse el silicio debajo de la Cutícula de las hojas, tallos y frutos, ofrece una Resistencia Mecánica al ataque de insectos chupadores como Afidos y Mosca Blanca, es decir, minimiza el ataque de estos, inclusive comedores de follaje en sus primeros instares, es este caso la explicación más cercana del efecto que ha tenido la aplicación de silicio en la poda de rehabilitación del café.

El Silicio hace que de los tallos baje oxígeno a la raíz llegando al aerenquima, oxidando de esta manera la rizósfera (zona aledaña a la raíz), logrando que el Fe y el Mn reducido (forma en que lo toma la planta) se oxide, siendo esta forma poco absorbida por las plantas, evitándose una toma excesiva de estos elementos, que aunque son necesarios para las plantas, su abundancia puede volverlos tóxicos (Horna, 2007), el mismo autor también afirma que los síntomas de deficiencia están ligadas a que estas se hacen quebradizas y susceptibles de infecciones fúngicas, no toleran sequías y variaciones bióticas ni abióticas fuertes, por otro lado, el Silicio refuerza a la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha. Por lo que los glúcidos (hidratos de carbono) toman parte de los tejidos que le dan forma a la planta, permitiéndole mantener un crecimiento vertical.

6.5 Del número de ramas por brote

El cuadro 7 y gráfico 5 dan a conocer los resultados del ANVA y Prueba de Duncan para el número de ramas por brote evaluados con la aplicación de la solución enriquecida con silicio después de la poda del café. Al observar el cuadro de ANVA (Cuadro 7), nos permite ver que no existe diferencia significativa para los bloques, mientras que para los tratamientos si se encontró diferencia estadística significativa.

Por su parte, el gráfico 5 de la prueba de Duncan corrobora las diferencias estadísticas entre tratamientos. Al respecto, el tratamiento que sobresalió frente a los demás fue el T4 (15 cc Si) cuyo número de ramas por brote fue de

3.94. A este le sigue el tratamiento T3 (10 cc Si) con 3.3 ramas por brote, luego los tratamientos T1 (5 cc Si) y T2 (10 cc Si) con 2.93 y 2.87 ramas, respectivamente. Finalmente, el último lugar ocupa el tratamiento T0 (testigo absoluto) con 2.54 ramas por brote.

Es importante resaltar que los tratamientos con las mayores dosis de aplicación de silicio (T4 y T3), fueron los que mejores respuestas dieron en cuanto al aumento del número de ramas por brote de las plantas podadas. Es preciso indicar que se ha observado las ramas laterales crecen a ambos lados del tallo principal y en las cuales se van formando los nudos y entrenudos, en cada nudo se forman 2 hojas, en la base del tallo de cada hoja se forman 5 yemas seriadas y de cada yema floral se forman 4 botones florales, los cuales se transforman en 4 frutos. Este proceso fisiológico demuestra los beneficios del silicio para la planta que en este caso fue favoreciendo la aparición de un mayor número de ramas por brote después de la poda. Similares resultados encontraron Caicedo y Chavarriaga (2008), en Colombia, quienes evaluaron el efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café ratificando la influencia del silicio en el mayor desarrollo y crecimiento de brotes y ramas.

6.6 Del número de hojas por brote

El Análisis de Variancia y Prueba de Duncan para el número de hojas por brote, evaluados con la aplicación de dosis de silicio después de la poda de rehabilitación de plantas de café, se presentan en el cuadro 8 y gráfico 6. La observación del cuadro 8 nos permite apreciar que hubo una diferencia

significativa para bloques, mientras que para los tratamientos no se encontró diferencia estadística significativa.

En el gráfico 6 por su parte, se muestra que con la Prueba de Duncan si hubo diferencias estadísticas significativas en los tratamientos. Al respecto, el tratamiento T3 (10 cc Si), fue el que tuvo el mayor número de hojas en promedio por brote con 19.5 hojas, le siguen los tratamientos T1 y T4 con 18.66 y 17.47 hojas por brote en promedio, respectivamente. Estos tres no difieren estadísticamente. Los tratamientos de menor número de hojas por brote fueron T0 y T2, que tuvieron 16.57 y 15.31 hojas en promedio por brote. En este parámetro también se aprecia la tendencia de que los tratamientos con las mayores dosis de silicio aplicados están entre los más sobresalientes, mientras que el testigo absoluto y el de menor dosis de silicio ocupan los últimos lugares. A su vez el tratamiento con solo aplicación del abono orgánico estándar (T1) también ocupó un lugar importante indicándonos que el abono aplicado también tuvo su influencia benéfica en el mejor comportamiento de las plantas en cuanto a la producción de hojas. Al igual que en las anteriores evaluaciones estos resultados permiten ratificar la influencia del silicio en el mayor desarrollo y crecimiento de los brotes, así como en el mayor número de hojas, tal como encontraron Caicedo y Chavarriaga (2008), en Colombia.

6.7 Del área foliar

Los resultados del Análisis de varianza y Prueba de Duncan realizados para el área foliar por cada planta evaluada en los diferentes tratamientos, se presentan en el cuadro 9 y gráfico 7.

Al observar el cuadro del ANVA (Cuadro 9), se puede ver que no hubo diferencias estadísticamente significativas para los bloques ni para los tratamientos evaluados. En la Prueba de Duncan por su parte (Gráfico 7), se observa que si hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. En este el tratamiento T4 (15 cc Si) es el que tuvo el mayor desarrollo de área foliar con 79.68 cm^2 de, seguido por el tratamiento T3 (10 cc Si) con área foliar de 75.5 cm^2 en promedio. Los tratamientos T1 (solo con A.O), T0 (Testigo absoluto) y T2 (5cc Si), tuvieron menores áreas foliares con 74.63 cm^2 , 74.08 cm^2 y 73.68 cm^2 , respectivamente.

Los resultados anteriores vuelven a ratificar la evidencia de que el silicio en sus mayores dosis (15 y 10 cc) aplicados al suelo, tuvieron efectos positivos en el comportamiento de los diferentes parámetros evaluados en el cultivo de café luego de la poda de renovación. Similares resultados obtuvieron Caicedo y Chavarriaga (2008), en Colombia que evaluaron el efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café. Estos afirman que los resultados obtenidos permitieron ratificar la influencia del silicio en complemento con abonos orgánicos, en el mayor desarrollo y crecimiento de brotes, al igual que el mayor número de hojas, lo que influencia necesariamente en el peso seco total. Además indican que la

misma tendencia encontraron en el crecimiento de la raíz, parte aérea y diámetro de tallo de los brotes a los seis meses de edad.

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados encontrados y la discusión realizada en el presente trabajo, se formula las conclusiones siguientes:

- 6.1** Los tratamientos con aplicación de la solución enriquecida con silicio: T2 (5 cc), T3 (10 cc) y T4 (15 cc) tuvieron mayor precocidad de brotamiento después de la poda de rehabilitación del café, sin existir significación estadística entre ellos. T4 (15 cc Si) fue el más precoz brotando a los 30.20 días, superior a T0 (Testigo absoluto) y T1 (A.O sin Si), que brotaron a los 33.42 y 34.02 días, respectivamente.
- 6.2** La dosis 15 cc de Si (T4), indujo el mayor número de brotes/planta con 10.03 brotes en promedio, superando a los demás tratamientos T0, T3, T1, T2, estadísticamente iguales, cuyos promedios de brotamiento fueron: 8.63, 8.30, 7.90 y 7.37 brotes/planta, respectivamente.
- 6.3** En cuanto a tamaño de brotes, los tratamientos T3 (10 cc Si) y T4 (15 cc Si), sobresalieron con un promedio de 18.09 cm y 17.91 cm por brote, respectivamente. Los tratamientos T2, T1, T0 fueron de menor tamaño con 16.66 cm, 15.91 cm y 15.82 cm de crecimiento.
- 6.4** El tratamiento T3 (10 cc Si) tuvo el diámetro de brotes más sobresaliente con 5.56 mm, en tanto que los tratamientos T4, T1, T0, T2, tuvieron diámetros de 4,78 mm, 4,71 mm, 4,64 mm y 4,56 mm, respectivamente, siendo menores que el anterior, aunque estadísticamente iguales.

- 6.5** Respecto a número de ramas por brote, el tratamiento que sobresalió fue T4 (15 cc Si) con 3.94 ramas. A este le sigue el tratamiento T3 (10 cc Si) con 3.3 ramas, luego los tratamientos T1 (5 cc Si) y T2 (10 cc Si) con 2.93 y 2.87 ramas, respectivamente. El último lugar ocupa el tratamiento T0 (testigo absoluto) con 2.54 ramas por brote. Se resalta que los tratamientos con mayores dosis de aplicación de silicio (T4 y T3), fueron los que mejores respuestas dieron.
- 6.6** El tratamiento T3 (10 cc Si), tuvo el mayor número de hojas/brote en promedio con 19.5 hojas, le siguen los tratamientos T1 y T4 con 18.66 y 17.47 hojas/brote, respectivamente, estos tres no difieren estadísticamente. Los tratamientos de menor número de hojas por brote fueron T0 y T2, con 16.57 y 15.31 hojas/brote.
- 6.7** El mayor desarrollo de área foliar tuvo el tratamiento T4 (15 cc Si) con 79.68 cm², seguido por T3 (10 cc Si) con área foliar de 75.5 cm² en promedio. Los tratamientos T1 (solo con A.O), T0 (Testigo absoluto) y T2 (5 cc Si), tuvieron menores áreas foliares con 74.63 cm², 74.08 cm² y 73.68 cm², respectivamente.
- 6.8** Las dosis de formulación de silicio que mejor contribuyeron a la inducción de crecimiento de brotes en la planta de café, después de la poda de rehabilitación, fueron los tratamientos T4 (15 cc Si) y T3 (10 cc Si).

VIII. RECOMENDACIONES

- 7.1** Para mejorar el crecimiento de brotes después de la poda de rehabilitación en plantaciones antiguas de café, se recomienda aplicaciones al suelo de soluciones enriquecidas con silicio en dosis de 10 a 15 cc./planta.
- 7.2** Es necesario continuar las evaluaciones de los tratamientos empleados en el presente experimento hasta el fin de la campaña de cosecha de café, para determinar con mayor seguridad las dosis y la influencia del silicio en el cultivo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “Efecto de la aplicación de dosis de silicio mas abonos orgánicos en la poda de rehabilitación en plantas de café variedad Catimor en el distrito de Alonso de Alvarado Roque - provincia de Lamas”, tuvo como objetivo: Comparar el efecto de la aplicación de una solución de minerales y ácidos orgánicos, enriquecida con tres (03) dosis de silicio en mezcla con un abono organo-mineral (formulación estándar), sobre la poda de rehabilitación del cafeto variedad Catimor y determinar la dosis de la formulación de silicio aplicada, que mejor contribuya a la inducción de crecimiento de brotes en la planta de café, después de la poda de rehabilitación.

El presente trabajo de investigación utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con 3 repeticiones y 5 tratamientos, haciendo un total de 15 unidades experimentales, donde se estudió el efecto de una solución enriquecida de silicio más abonos orgánicos. Los tratamientos estudiados fueron: Café, Variedad “Catimor”, como cultivos indicador, los tratamientos utilizados fueron combinaciones del Abono Organo-Mineral (Formulación estándar) compuesta por: Guano de isla, roca fosfórica, sulfato de potasio, ulexita, magnecal, sulfato de cobre, sulfato de zinc, sulfato de manganeso (A.O) y una Solución de minerales y ácidos orgánicos enriquecida con tres (03) dosis de Silicio (5, 10, 15 cc silicio/planta/campaña), más un testigo absoluto (T0), que no recibió aplicación alguna.

Los conclusiones más relevantes fueron: Los tratamientos con aplicación de la solución enriquecida con silicio: T2 (5 cc), T3 (10 cc) y T4 (15 cc) tuvieron mayor

precocidad de brotamiento después de la poda de rehabilitación del café, sin existir significación estadística entre ellos. T4 (15 cc Si) fue el más precoz brotando a los 30.20 días, superior a T0 (Testigo absoluto) y T1 (A.O sin Si), que brotaron a los 33.42 y 34.02 días, respectivamente. La dosis 15 cc de Si (T4), indujo el mayor número de brotes/planta con 10.03 brotes en promedio, superando a los demás tratamientos T0, T3, T1, T2. Los que mejores respuestas dieron. Esto vuelve a demostrar los beneficios del Silicio en este caso favoreciendo la aparición de un mayor número de ramas por brote después de la poda. La tendencia de que los tratamientos con mayores dosis de silicio están entre los más sobresalientes en el número de hojas/brote, mientras que el testigo absoluto y el de menor dosis de silicio ocupan los últimos lugares. El mayor desarrollo de área foliar tuvo el tratamiento T4 (15 cc Si) con 79.68 cm², seguido por T3 (10 cc Si) con área foliar de 75.5 cm² en promedio. Las dosis de formulación de silicio que mejor contribuyeron a la inducción de crecimiento y desarrollo de brotes en la planta de café, después de la poda de rehabilitación, fueron los tratamientos T4 (15 cc Si) y T3 (10 cc Si).

Palabras clave: Dosis de Silicio, variedad, abono orgánico

SUMMARY

This research paper "Effect of dose application of organic fertilizers in silicon more pruning rehabilitation Catimor variety coffee plants in the district of Alonso de Alvarado Roque - Lamas province", aimed to: compare the effect of applying a solution of mineral and organic acids, enriched with three (03) of silicon dose in admixture with a organo-mineral fertilizer (standard formulation), on the rehabilitation pruning Catimor coffee variety and determine the dose of formulation silicon applied to better contribute to the induction of shoot growth in the coffee plant, after pruning rehabilitation.

The present research design used randomized complete block with three replications and 5 treatments, making a total of 15 experimental units, where we studied the effect of a solution enriched silicon more organic fertilizers. The treatments were: Coffee, Variety "Catimor" as an indicator crops, treatments were combinations of organic-mineral fertilizer (standard formulation) comprising: island guano, rock phosphate, potassium sulfate, ulexite, magnecal, sulfate copper, zinc sulfate, manganese sulfate (AO) and a solution of mineral and organic acids enriched with three (03) Si doses (5, 10, 15 cc silicon / plant / year), an absolute control (T0) , who did not receive any application.

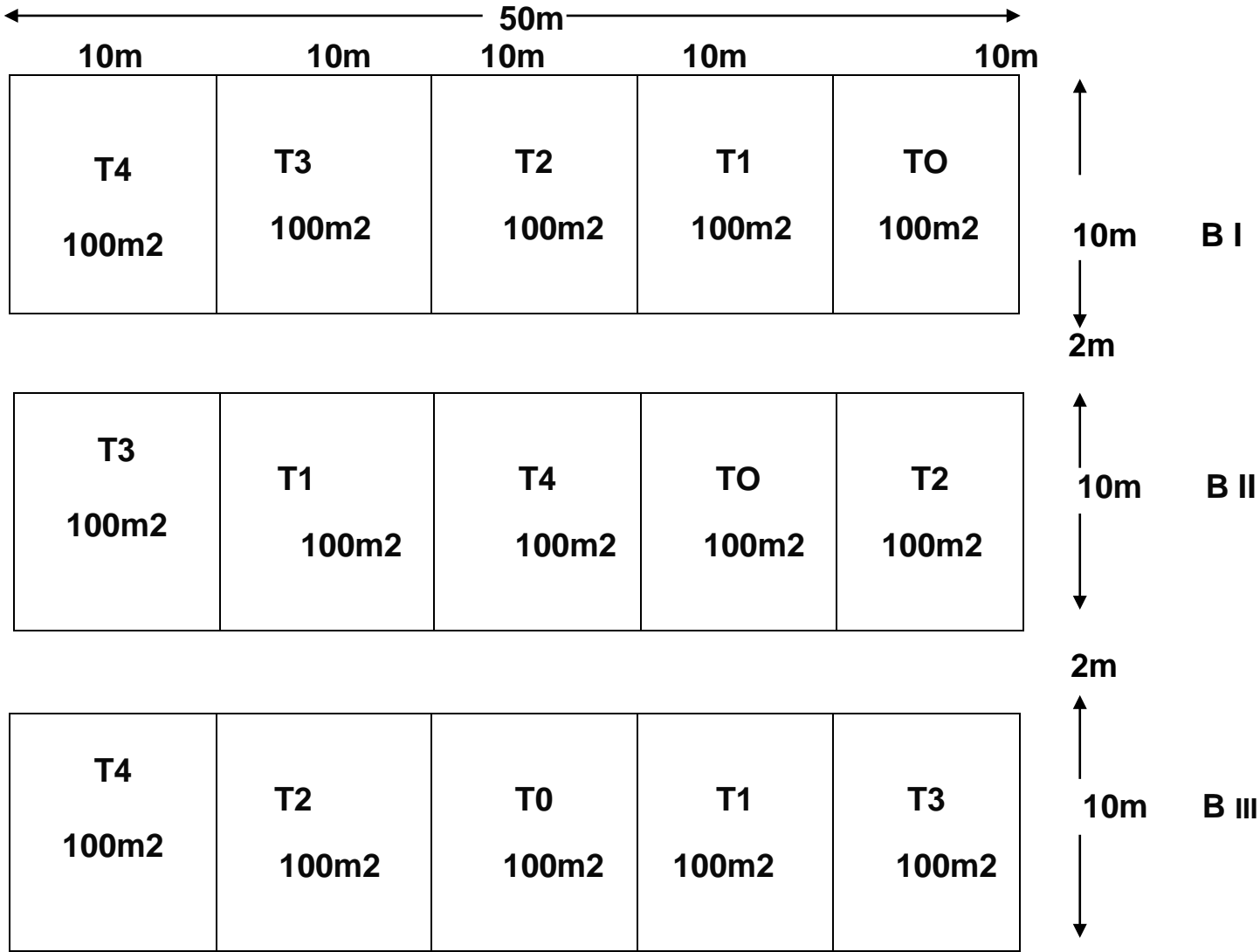
The most significant findings were: application treatments enriched silicon solution: T2 (5 cc), T3 (10 cc) and T4 (15 cc) were more precocious sprouting after pruning coffee rehabilitation, with no statistical significance between them. T4 (15 cc Si) was the

earliest sprouting to 30.20 days than T0 (absolute control) and T1 (AO without Si), which sprang up to 33.42 and 34.02 days, respectively. The dose 15 cc of Si (T4), induced the highest number of shoots / plant by 10.03 on average outbreaks, outperforming all other treatments T0, T3, T1, T2. The best answers that were given. This again demonstrates the benefits of Silicon in this case favoring the appearance of a greater number of branches per outbreak after pruning. The trend that treatments with higher doses of silicon are among the most outstanding in the number of leaves / shoot, while the absolute control and the lowest dose of silicon rank lowest. The further development of leaf area had T4 treatment (15 cc Si) with 79.68 cm², followed by T3 (10 cc Si) with leaf area of 75.5 cm² on average. Doses of silicon formulation helped to better growth and induction of shoot development in the coffee plant, after pruning rehabilitation treatments were T4 (15 cc Si) and T3 (10 cc Si).

Keywords: Dose Silicon, variety, organic fertilizer.



Anexo 1: Diseño del campo experimental



Anexo 2: Costo social en la ejecución del tratamiento testigo

| RUBROS | Unidad | cantid ad | Cost o unit. | TOTAL |
|---|----------|--------------|--------------------|----------------|
| CONSOLIDADO | | | S/. | S/. |
| Materiales | | | | |
| Rollos de rafia | unidad | 1 | 7.5 | 7.50 |
| Vernier | unidad | 1/20 | 85 | 4.25 |
| Escobilla de acero | unidad | 1/7 | 7 | 1 |
| Pintura | Unid/gln | 1/4 | 40 | 10 |
| Calamina plana | unidad | 1/2 | 22 | 11.00 |
| Brocha | unidad | 1/4 | 3 | 0.75 |
| Clavos | kg | 1/2 | 4 | 2.00 |
| Subtotal | | | | 36.50 |
| Análisis de Laboratorio | | | | |
| Análisis de suelo (macro y micro elementos) | análisis | 1 | 140 | 140.00 |
| Subtotal | | | | 140.00 |
| Recursos Humanos | | | | |
| Motosierra | hora | 8 | 17 | 136.00 |
| Raspado de tallo | Jornal | 3 | 20 | 60.00 |
| Aplicación de caldo sulfocálcico | Jornal | 1 | 20 | 20.00 |
| Picacheo y shunteo | Jornal | 5 | 20 | 100.00 |
| Desmalezado | Jornal | 30 | 20 | 600.00 |
| Sub total | | | | 916.00 |
| Gastos imprevistos (5%) | | | | 54.63 |
| TOTAL GENERAL | | | | 1147.13 |

Anexo 3: Costo social para la ejecución del tratamiento 1

| RUBROS | Unidad | cantidad | Costo unit. | TOTAL |
|---|----------|----------|-------------|----------------|
| CONSOLIDADO | | | S/. | S/. |
| Materiales | | | | |
| Rollos de rafia | unidad | 1 | 7.5 | 7.50 |
| Vernier | unidad | 1/20 | 85 | 4.25 |
| Escobilla de acero | unidad | 1/7 | 7 | 1 |
| Pintura | Unid/gln | 1/4 | 40 | 10 |
| Calamina plana | unidad | 1/2 | 22 | 11.00 |
| Brocha | unidad | 1/4 | 3 | 0.75 |
| Clavos | kg | 1/2 | 4 | 2.00 |
| Subtotal | | | | 36.50 |
| Insumos | | | | |
| Guano de Isla | Kg | 183.34 | 1.38 | 253.00 |
| Roca Fosfórica | Kg | 95.84 | 0.78 | 74.75 |
| Sulfato de Potasio | kg | 87.51 | 2.54 | 222.27 |
| Ulexita | kg | 20.84 | 4 | 83.36 |
| Magnecal | kg | 41.67 | 0.76 | 31.94 |
| Sulfato de Cobre | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Manganeso | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Zinc | kg | 1.66 | 2 | 3.32 |
| Subtotal | | | | 680.26 |
| Análisis de Laboratorio | | | | |
| Análisis de suelo (macro y micro elementos) | análisis | 1 | 140 | 140 |
| Subtotal | | | | 140.00 |
| Recursos Humanos | | | | |
| Motosierra | hora | 8 | 17 | 136 |
| Raspado de tallo | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Aplicación de caldo sulfocalcico | Jornal | 1 | 20 | 20 |
| Picacheo y shunteo | Jornal | 5 | 20 | 100 |
| Desmalezado | Jornal | 30 | 20 | 600 |
| Aplicación de abonos orgánicos | Jornal | 4 | 20 | 80 |
| Subtotal | | | | 996.00 |
| Gastos imprevistos (5%) | | | | 92.63 |
| TOTAL GENERAL | | | | 1945.40 |

Anexo 4: Costo social para la ejecución del tratamiento 2

| RUBROS | Unidad | cantidad | Costo unit. | TOTAL |
|---|----------|----------|-------------|----------------|
| CONSOLIDADO | | | S/. | S/. |
| Materiales | | | | |
| Rollos de rafia | unidad | 1 | 7.5 | 7.50 |
| Vernier | unidad | 1/20 | 85 | 4.25 |
| Escobilla de acero | unidad | 1/7 | 7 | 1 |
| Pintura | Unid/gln | 1/4 | 40 | 10 |
| Calamina plana | unidad | 1/2 | 22 | 11.00 |
| Brocha | unidad | 1/4 | 3 | 0.75 |
| Clavos | kg | 1/2 | 4 | 2.00 |
| Subtotal | | | | 36.50 |
| Insumos | | | | |
| Guano de Isla | Kg | 183.34 | 1.38 | 253 |
| Roca Fosfórica | Kg | 95.84 | 0.78 | 74.75 |
| Sulfato de Potasio | kg | 87.51 | 2.54 | 222.27 |
| Ulexita | kg | 20.84 | 4 | 83.36 |
| Magnecal | kg | 41.67 | 0.76 | 31.94 |
| Sulfato de Cobre | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Manganeseo | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Zinc | kg | 1.66 | 2 | 3.32 |
| Quick Sol | Litro | 20.83 | 75/7 | 223.23 |
| Subtotal | | | | 903.49 |
| Análisis de Laboratorio | | | | |
| Análisis de suelo (macro y micro elementos) | análisis | 1 | 140 | 140 |
| Subtotal | | | | 140.00 |
| Recursos Humanos | | | | |
| Motosierra | hora | 8 | 17 | 136 |
| Raspado de tallo | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Aplicación de caldo sulfocalcico | Jornal | 1 | 20 | 20 |
| Picacheo y shunteo | Jornal | 5 | 20 | 100 |
| Desmalezado | Jornal | 8 | 20 | 160 |
| Aplicación de abonos orgánicos | Jornal | 4 | 20 | 80 |
| Aplicación de Silicio | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Subtotal | | | | 616.00 |
| Gastos imprevistos (5%) | | | | 84.80 |
| TOTAL GENERAL | | | | 1780.79 |

Anexo 5: Costo social para la ejecución del tratamiento 3

| RUBROS | Unidad | cantidad | Costo unit. | TOTAL |
|---|----------|----------|-------------|----------------|
| CONSOLIDADO | | | S/. | S/. |
| Materiales | | | | |
| Rollos de rafia | unidad | 1 | 7.5 | 7.50 |
| Vernier | unidad | 1/20 | 85 | 4.25 |
| Escobilla de acero | unidad | 1/7 | 7 | 1 |
| Pintura | Unid/gln | 1/4 | 40 | 10 |
| Calamina plana | unidad | 1/2 | 22 | 11.00 |
| Brocha | unidad | 1/4 | 3 | 0.75 |
| Clavos | kg | 1/2 | 4 | 2.00 |
| Subtotal | | | | 36.50 |
| Insumos | | | | |
| Guano de Isla | Kg | 183.34 | 1.38 | 253 |
| Roca Fosfórica | Kg | 95.84 | 0.78 | 74.75 |
| Sulfato de Potasio | kg | 87.51 | 2.54 | 222.27 |
| Ulexita | kg | 20.84 | 4 | 83.36 |
| Magnechal | kg | 41.67 | 0.76 | 31.94 |
| Sulfato de Cobre | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Manganeseo | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Zinc | kg | 1.66 | 2 | 3.32 |
| Quick Sol | Litro | 41.67 | 75/7 | 446.46 |
| Subtotal | | | | 1126.72 |
| Análisis de Laboratorio | | | | |
| Análisis de suelo (macro y micro elementos) | análisis | 1 | 140 | 140 |
| Subtotal | | | | 140.00 |
| Recursos Humanos | | | | |
| Motosierra | hora | 8 | 17 | 136 |
| Raspado de tallo | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Aplicación de caldo sulfocalcico | Jornal | 1 | 20 | 20 |
| Picacheo y shunteo | Jornal | 5 | 20 | 100 |
| Desmalezado | Jornal | 8 | 20 | 160 |
| Aplicación de abonos orgánicos | Jornal | 4 | 20 | 80 |
| Aplicación de Silicio | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Subtotal | | | | 616.00 |
| Gastos imprevistos (5%) | | | | 95.96 |
| TOTAL GENERAL | | | | 2015.18 |

Anexo 6: Costo social para la ejecución del tratamiento 4

| RUBROS | Unidad | cantidad | Costo unit. | TOTAL |
|---|----------|----------|-------------|----------------|
| CONSOLIDADO | | | S/. | S/. |
| Materiales | | | | |
| Rollos de rafia | unidad | 1 | 7.5 | 7.50 |
| Vernier | unidad | 1/20 | 85 | 4.25 |
| Escobilla de acero | unidad | 1/7 | 7 | 1 |
| Pintura | Unid/gln | 1/4 | 40 | 10 |
| Calamina plana | unidad | 1/2 | 22 | 11.00 |
| Brocha | unidad | 1/4 | 3 | 0.75 |
| Clavos | kg | 1/2 | 4 | 2.00 |
| Subtotal | | | | 36.50 |
| Insumos | | | | |
| Guano de Isla | Kg | 183.34 | 1.38 | 253 |
| Roca Fosfórica | Kg | 95.84 | 0.78 | 74.75 |
| Sulfato de Potasio | kg | 87.51 | 2.54 | 222.27 |
| Ulexita | kg | 20.84 | 4 | 83.36 |
| Magnecal | kg | 41.67 | 0.76 | 31.94 |
| Sulfato de Cobre | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Manganeseo | kg | 1.66 | 3.5 | 5.81 |
| Sulfato de Zinc | kg | 1.66 | 2 | 3.32 |
| Quick Sol | Litro | 62.50 | 75/7 | 669.64 |
| Subtotal | | | | 1349.9 |
| Análisis de Laboratorio | | | | |
| Análisis de suelo (macro y micro elementos) | análisis | 1 | 140 | 140 |
| Subtotal | | | | 140.00 |
| Recursos Humanos | | | | |
| Motosierra | hora | 8 | 17 | 136 |
| Raspado de tallo | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Aplicación de caldo sulfocalcico | Jornal | 1 | 20 | 20 |
| Picacheo y shunteo | Jornal | 5 | 20 | 100 |
| Desmalezado | Jornal | 8 | 20 | 160 |
| Aplicación de abonos orgánicos | Jornal | 4 | 20 | 80 |
| Aplicación de Silicio | Jornal | 3 | 20 | 60 |
| Subtotal | | | | 616.00 |
| Gastos imprevistos (5%) | | | | 107.12 |
| TOTAL GENERAL | | | | 2249.52 |

Anexo 7: Datos meteorológicos de precipitación pluvial del año 2010

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

INFORMACION METEOROLÓGICA

ESTACIÓN: PLU “PACAYZAPA”

| | | | | | |
|----------|---|--------------|--------------|---|------------|
| Latitud | : | 06° 17' | Departamento | : | SAN MARTÍN |
| Longitud | : | 76° 41' | Provincia | : | LAMAS |
| Altura | : | 830 m.s.n.m. | Distrito | : | PACAYZAPA |

| DATOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm.) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|--------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
| 2010 | 24.8 | 181.5 | 140.0 | 148.9 | 186.6 | 57.5 | 77.8 | 74.4 | 149.9 | 93.0 | 205.5 | 143.9 | 1483.8 |

Fuente Precipitación: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) –Estación PLU “PACAYZAPA”.

Anexo 8: Raspado de los tallos



Tallo antes del raspado



Raspado de los tallos

Anexo 9: Aparición de los primeros brotes



Tamaño de brotes a los 20 días después de la poda.



Tamaño de brote a los 32 días después de la poda.

Anexo 10: Evaluación de los parámetros



Evaluación del diámetro del tallo con vernier.



Evaluación del tamaño de planta con wincha.



Determinación del área foliar.



Evaluación por conteo.

Anexo 11: Formato de ficha de evaluación

| T0 – BI / ALONSO DE ALVARADO ROQUE, 04 DE JUNIO DEL 2010 | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--|--|-----------------|--|--|-----------------------|--|--|-----------------------|--|--|
| PLANTA | DIAMETRO DE BROTE | | | TAMAÑO DE BROTE | | | N° DE RAMAS POR BROTE | | | N° DE HOJAS POR BROTE | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | |

Anexo : Dimensiones del campo experimental

| | | |
|---|---|---------------------|
| Área total del campo | : | 1500 m ² |
| Número de bloques (b) | : | 03 |
| Número de tratamientos (t) | : | 05 |
| Número Total de unidades experimentales | : | 15 |
| Largo de las Parcelas | : | 10 m. |
| Ancho de las Parcelas | : | 10 m. |
| Área de Parcelas | : | 100 m ² |
| Distanciamiento entre hileras | : | 2 m |
| Distanciamiento entre plantas | : | 1.2 m |

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ACOSTA-GALLEGOS, J. A. AND ADAMS, M. W. 1991 Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. J. Agric. Sci. 117:213-219.
- 2 AZABACHE, L. A. 2003 "FERTILIDAD DE SUELO PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE" Lima – Perú , Pág. 167
- 3 BÁEZ-GONZÁLEZ, A. D.; CHEN, P.; TISCAREÑO-LÓPEZ, M. AND SRINIVASAN, R. R. 2002 Usin satellite and fi eld data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. Crop Sci. 42: 1943-1949.
- 4 BÁEZ-GONZÁLEZ, A. D.; KINIRY J., R.; MAAS S., J.; TISCAREÑO-LÓPEZ, M.; MACIAS C., J.; MENDOZA C., J. L.; RICHARSON, W.; SALINAS G., J. AND MANJARES J., R. 2005 Large-area maize yield forecasting using leaf area index based yield model. Agron. J. 97:418-425.
- 5 BLANCO, M. y HAGGAR J. 2003 MORFOLOGÍA DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN LOTES COMERCIALES. NICARAGUA. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 14(1): 97-103. 2003.
- 6 BENITO S. J. A. 1996 "Bases técnicas para el cultivo de café". Ministerio de Agricultura INIA. Tarapoto – Perú. 44p.
- 7 BRADY, N. C. 1992 The naturale and properties of soil. 10 ed. New York: Macmillan Publishing. 750 p.
- 8 CAICEDO Y CHAVARRIAGA. 2008 Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad

Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas.
Colombia.

- 9 CARDONA, C.E., ARAMÉNDIZ, H, BARRERA, C.J. 2010 Modelo para estimación de área foliar en Berenjena (*Solanum melongena* L) basado en muestreo no destructivo. 17 P.
- 10 CARRILLO P., IGNACIO F. 1987 Boletín Técnico, No. 12. Chinchiná: CENICAFE. pp. 35-49.
- 11 CASTAÑEDA, P. E. 1997 “Manual técnico cafetalero”. MSP – ADEX – USAID. Lima – Perú. 162p.
- 12 CENTRO INTERNACIONAL PARA LA AGRICULTURA TROPICAL -CIAT. 1985 Química de los suelos inundados. Investigación y producción de arroz. Cali: CIAT.
- 13 CERVANTES F, A. 1997 Abonos orgánicos (en línea). Perú. Consultado 21 Mar. 2008. Disponible en http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm
- 14 CHUEIRI, W. A. 2004 “El fósforo en los suelos tropicales”. [En línea]. Revista El productor. Disponible en: www.revistaelproductor.com/setiembre2003/fertilización [citado: 10 de noviembre de 2005].
- 15 COSTE, R. 1978, “El café”. Editorial Blume Barcelona – España. 63 p.
- 16 DAMARYS G, L. 2008. Animales y producción (en línea). Consultado 21 Mar. 2008 Disponible en http://www.mundo-pecuario.com/tema60/monogastricos/gallinaza_piso-299.html
- 17 DOMÍNGUEZ, V. A. 1989 “Tratado de fertilización”. 2º edición revisada y ampliada – Madrid.

- 18 EPSTEIN, E. 1999 "Silicon". En: Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology. Vol. 50. pp. 641-64.
- 19 FERNÁNDEZ, C. E. 1963 "Prácticas usadas en el cultivo de Café Turrialba". Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- 20 FIGUEROA, E. R. 1990 "La Caficultura en el Perú". CONCYTEC. Lima – Perú. 234 p.
- 21 FIGUEROA, Z. R. 1998 "Guía para la caficultura ecológica"
- 22 GALVÁN-TOVAR, M.; KOHASHI-SHIBATA, J.; GARCÍA-ESTEVA, A.; YÁNEZ JIMÉNEZ, P.; MARTÍNEZ-VILLEGAS, E. Y RUIZ P., L. M. 2003 Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. Agri. Téc. Méx. 29(1):101-111
- 23 GARCÍA-CORONA, ILYA; VILLALBA-FONTES, MARIA J.; GARCÍA-DÍAZ, ROSENDO 2010 LA ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR EN *Swietenia macrophylla* KING. VI Simposio Internacional Sobre Manejo Sostenible de Recursos Forestales. Universidad de Pinar del Río, Martí #270, esq. 27 de noviembre, Pinar del Río, C.P. 20100, Cuba. E-mail: ilia@af.upr.edu.cu
- 24 GÓMEZ O. A.; PÉREZ, D. 1995 Evaluación de diferentes alternativas de fertilizar cafetos manejados en recepa por surcos de acuerdo a la edad de la recepa. In: Memoria XVII Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. IICA - PROMECAFE, San Salvador:
- 25 HORNA, Z. 2007 Efectos del silicio en la nutrición vegetal producción de silicio orgánico. Agryptus. Quevedo, Ecuador.
- 26 HORNA Z. 2007 Resultados de la aplicación de varias dosis de Silicio inorgánico en sinergismo con Biol y Mezclafix HS K36. Hda. La Palma.

Patricia Pilar, Buena Fe, provincial de Los Rios – Ecuador. Informe no publicado.

- 27** JNC - JUNTA NACIONAL CAFÉ, 2011. “Simplificación de los Sistemas Internos de Gestión para la Certificación Múltiple y Elaboración de una Guía para la Rehabilitación de Cafetales”. Boletín Técnico, Pág. 02, Lima – Perú.
- 28** LIBRO BOTANICA Online, 2007. [www. Forest.ula.ve./rubenhg](http://www.Forest.ula.ve./rubenhg). Nutricion ikneral de las plantas. Libro Botánica Online.
- 29** MORIYA, K. 2007. Suplemento rural: la gallinaza (en línea). Paraguay. Consultado 21 Mar. 2008. Disponible en <http://www.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=360310&ABC DIGITAL=472fa60ecfb2e5ad825ebe0c51a0d26c>
- 30** NAVARRO, S. & NAVARRO, G. 2000 Química Agrícola. Barcelona: Mundiprensa. pp. 424-427.
- 31** PADILLA-RAMÍREZ, J. S.; ACOSTA-DÍAZ, E.; GAYTÁN-BAUTISTA, R. Y RODRÍGUEZ-MORENO, V. M. 2005 Índice de área foliar en frijol de temporal y su relación con biomasa y rendimiento. Agric. Téc. Méx. 31 (2):213-219.
- 32** PIRE, R.; VALENZUELA, I. 1995 Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. “French Colombard” a partir de mediciones lineales en las hojas. Agronomía Tropical (Venezuela). 45(1):143-154
- 33** PORVENIR. 2001. Suelo, abono y materiales orgánicos (en línea). Bolivia. Consultado 21 Mar. 2008. Disponible en [http://www.porvenir.solarquest.com/news/article.asp?id=1521&ssectionid=](http://www.porvenir.solarquest.com/news/article.asp?id=1521&ssectionid=0)

- 34** PRIMAVESI, A. 1984 Manejo ecológico del suelo: la agricultura en regiones tropicales. 5 ed. Buenos Aires: Ataneo.
- 35** QUERO, G. E. 2008 "Silicio en la Producción Agrícola" Instituto Tecnológico Superior de Uruap – Brasilia.
- 36** RAAA. 2002. Abonos orgánicos (en línea). Perú. Consultado 21 Mar. 2008. Disponible en <http://www.geocities.com/raaaperu/ao.html#top> .
- 37** RAMÍREZ, J.E. 1996 Poda y manejo de Coffea arabica L. Instituto del Café de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Café.
- 38** RENGIFO, S. C. 1998 "Fundamentos y Recomendaciones Técnicas para la Fertilización del Cultivo de Café". Boletín Técnico; Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.
- 39** RUIZ C. R. 1979 "Manual Práctico para el Cultivo del Café". Centro Nacional de Investigación de Café. Colombia.
- 40** SANCHEZ. E, J. A. 2009 "Manual de manejo y fertilización de suelos cafetaleros en Satipo – Perú", Pag. 26 y 27.
- 41** SEPHU - SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PRODUCTOS HÚMICOS. 2009 El silicio como elemento fertilizante. Noticias Sephu Nº 028. Zaragoza, España.
- 42** WILHELM, W. W.; RUWE, K. AND SCHLEMMER M., R. 2002. Comparison of three leaf index meters in a corn canopy. Crop Sci. 40:1179-1183.